UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

Aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla de concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024

Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. Julio Cesar RAMOS CAVALCANTI

ASESOR:
Dr. Hemerson LIZARBE ALARCÓN

AYACUCHO - PERÚ

2025

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres: A Prudencio Ramos Huamán y Rosa Cavalcanti Huamán, por todas las enseñanzas que me han inculcado a lo largo de mi vida, por su amor incondicional y por ser siempre un faro de esperanza y confianza en mí, incluso en los momentos más desafiantes. Así como a mis hermanos (Marlene, Yoni, Yuly, Litman, Braulio, Lisset) y amigos que han confiado plenamente en mi capacidad de superación.

Agradecimientos

Quiero extender mi sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones por su orientación y apoyo durante la realización de la tesis:

A mi asesor, Dr. Hemerson Lizarbe Alarcón, por su invaluable orientación, dedicación y paciencia a lo largo de este proceso. Su acompañamiento académico, caracterizado por sabiduría y motivación constante, fue decisivo para alcanzar los objetivos trazados en esta investigación.

Expreso mi agradecimiento a los miembros del jurado, MSc. Ing. José Ernesto Estrada Cárdenas y MSc. Ing. Victor Bellido Aedo, por su dedicación y valiosas críticas constructivas, las cuales han sido fundamentales para mejorar y perfeccionar este trabajo.

A todos los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por su dedicación constante y vocación formativa, por compartir con generosidad su conocimiento y experiencia,
y por dejar una huella profunda en mi desarrollo profesional.

Al laboratorio Akhise Ingeniería y Construcción, por su valioso respaldo en la ejecución de los ensayos experimentales, apoyo esencial para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, deseo expresar mi profunda gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. Su apoyo y confianza en mi trabajo han sido una fuente invaluable de motivación para esforzarme al máximo. En especial, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera profesional y, de manera particular, durante el desarrollo de esta investigación, que representa la culminación de este importante capítulo en mi vida académica. También extiendo mi reconocimiento a todas aquellas personas cuyo invalorable aporte hizo posible la concreción de este trabajo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, JUNIO DE 2025

BACH. JULIO CESAR RAMOS CAVALCANTI

Resumen

El diseño tradicional de mezclas de concreto en Perú presenta limitaciones al no considerar el comportamiento no lineal de los materiales. En respuesta, esta investigación desarrolló un modelo predictivo con redes neuronales artificiales (RNA) para optimizar la dosificación de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de agregados locales extraídos de las canteras La Moderna y Chillico en Ayacucho (2024). Se conformó una base de datos con 806 registros experimentales provenientes de ensayos de laboratorio y fuentes académicas, organizados y depurados en Microsoft Excel, mediante técnicas estadísticas avanzadas para garantizar su calidad y validez. En la fase de preprocesamiento, se programaron en MATLAB R2020a procedimientos de detección y tratamiento de valores atípicos mediante el método Modified Z-Score (análisis univariado) y distancia de Mahalanobis (evaluación multivariante). Se implementó una RNA tipo perceptrón multicapa (MLP) con arquitectura feedforward, entrenada en MATLAB mediante backpropagation optimizado con Levenberg–Marquardt. De 25 configuraciones evaluadas, la óptima fue 18-11-12-4, con 18 variables de entrada, dos capas ocultas (11 y 12 neuronas) y cuatro salidas (cemento, agregado fino, agregado grueso y agua). La validación externa se realizó con 15 diseños y 135 probetas ensayadas a compresión a 7, 14 y 28 días según NTP 339.033:2021 y ASTM C31/C31M-2021. Asimismo, se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM), cuya significancia se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA) y análisis multivariante de la varianza (MANOVA), y se comparó con la RNA para determinar su desempeño relativo. Los resultados demostraron la superioridad de la RNA, que alcanzó un coeficiente de correlación (R) de 0.9947, coeficiente de determinación (R^2) de 0.9895, eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.9784 y un error porcentual absoluto medio (MAPE) global de 0.9175 %, superando al RLMM (R=0.9947; R^2=0.9507; NSE=0.9413; MAPE=1.4130 %), con mejoras relativas de hasta 63.7%, destacando en agua, cemento y agregado fino. El análisis de Bland–Altman confirmó una concordancia aceptable entre la dosificación estimada por RNA y el método normativo ACI 211.1, validando su aplicabilidad. En conclusión, las RNA se consolidan como una herramienta robusta y eficiente para mejorar el diseño de mezclas de concreto en contextos locales como Ayacucho.

Palabras clave: redes neuronales artificiales; diseño de mezcla de concreto; optimización; ANOVA; MANOVA; regresión lineal múltiple multivariante.

Abstract

The traditional design of concrete mixes in Peru presents limitations as it does not consider the nonlinear behavior of the materials. In response, this study developed a predictive model using artificial neural networks (ANNs) to optimize the dosage of concrete mixes, utilizing the physicomechanical properties of local aggregates extracted from the La Moderna and Chillico quarries in Ayacucho (2024). A database of 806 experimental records from laboratory tests and academic sources was compiled, organized, and cleaned in Microsoft Excel using advanced statistical techniques to ensure its quality and validity. During the preprocessing phase, MATLAB R2020a was used to program procedures for detecting and treating outliers using the Modified Z-Score method (univariate analysis) and Mahalanobis distance (multivariate evaluation). A multilayer perceptron (MLP) feedforward ANN was implemented and trained in MATLAB using backpropagation optimized with Levenberg–Marquardt. Among 25 evaluated configurations, the optimal one was 18-11-12-4, with 18 input variables, two hidden layers (11 and 12 neurons), and four outputs (cement, fine aggregate, coarse aggregate, and water). External validation was performed with 15 mix designs and 135 specimens tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days according to NTP 339.033:2021 and ASTM C31/C31M-2021. Additionally, a multivariate multiple linear regression model (MLR) was developed, whose significance was assessed using analysis of variance (ANOVA) and multivariate analysis of variance (MANOVA) and compared with the ANN to determine relative performance. The results demonstrated the superiority of the ANN, achieving a correlation coefficient (R) of 0.9947, determination coefficient (R^2) of 0.9895, Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) of 0.9784, and a global mean absolute percentage error (MAPE) of 0.9175 %, surpassing the MLR (R=0.9947; R^2=0.9507; NSE=0.9413; MAPE=1.413 %) with relative improvements of up to 63.7%, especially for water, cement, and fine aggregate. The Bland–Altman analysis confirmed an acceptable agreement between the ANN-estimated dosages and the normative ACI 211.1 method, validating its applicability. In conclusion, ANNs prove to be a robust and efficient tool for improving the design of concrete mixes in local contexts such as Ayacucho.

keywords: artificial neural networks; concrete mix design; optimization; ANOVA; MANOVA; multivariate multiple linear regression

Introducción

Los avances tecnológicos y científicos actuales han impulsado la necesidad de innovar y optimizar procesos en múltiples sectores, especialmente en la construcción, donde el concreto es un material fundamental para la resistencia y durabilidad de las estructuras. En este contexto, la mejora en el diseño de la dosificación del concreto es clave para garantizar eficiencia, calidad y sostenibilidad.

Esta investigación se enfoca en el aprovechamiento de la Inteligencia Artificial, específicamente mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA), con el fin de mejorar el procedimiento convencional empleado en el diseño de mezclas de concreto en la ciudad de Ayacucho. Para este propósito, se emplea una base de datos construida a partir de tesis y estudios desarrollados en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, la cual recopila información detallada sobre propiedades físicas y granulométricas de los agregados, características del cemento, parámetros de diseño, resistencia y dosificación por metro cúbico.

El modelo de RNA aprende de estos datos y genera diseños de mezcla que cumplen con las resistencias habituales requeridas, Adecuándose a las particularidades de la zona, esta innovadora tecnología potencia la calidad, durabilidad y sustentabilidad del concreto, modernizando las prácticas constructivas tradicionales y promoviendo la innovación en la ingeniería civil en Ayacucho.

La investigación que aquí se presenta se despliega en cinco capítulos, además de secciones complementarias que permiten una mejor comprensión del estudio. A continuación, se describe brevemente el contenido de cada uno de ellos:

1. **Capítulo I: Planteamiento del problema**

   Este capítulo aborda las secciones relacionadas con la descripción, delimitación y formulación del problema, además de la justificación, importancia, limitaciones y objetivos del estudio. En él se define y detalla el problema central que motiva la investigación, estableciendo así el punto de partida esencial para el desarrollo del trabajo.

2. **Capítulo II: Marco Teórico**

   En este capítulo se desarrollan los antecedentes y la base teórica, proporcionando una base conceptual sólida que sustenta esta investigación. Asimismo, se ofrecen las herramientas conceptuales y teóricas esenciales para orientar el estudio y comprensión de los resultados.

3. **Capítulo III: Metodología de Investigación**

   Este capítulo detalla el método elegido para llevar a cabo la investigación, incluyendo el tipo de estudio, población, hipótesis, variables, técnicas estadísticas e instrumentos utilizados. Asimismo, detalla el procedimiento experimental y el desarrollo de modelos predictivos mediante RNA y RLMM, junto con sus respectivos criterios de evaluación.

4. **Capítulo IV: Resultados**

   Presenta los resultados obtenidos de los modelos, el análisis comparativo, la interpretación de indicadores estadísticos y la contrastación de hipótesis mediante pruebas estadísticas.

5. **Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones**

   Se resume los datos importantes obtenidos, se presenta las conclusiones de la investigación, en relación a los objetivos establecidos y la demostración de la hipótesis.

- **Referencias bibliográficas**

Se detalla todas las fuentes de información que se han consultado y citado a lo largo del trabajo de investigación.

- **Acrónimos, glosarios y lista de símbolos:**
- Se presenta un listado ordenado de términos técnicos, abreviaturas y símbolos utilizados, con sus respectivas definiciones o significados para facilitar la comprensión del lector.
- **Anexo:**

Incluye información complementaria relevante, como la base de datos, resultados experimentales, cálculos realizados, cartillas de diseño de mezclas, capturas del software desarrollado, fotografías de apoyo y resultados detallados que respaldan el desarrollo del trabajo.

Índice general

Dedicatoria ..... **IV**

Agradecimientos ..... **II**

Resumen ..... **III**

Abstract ..... **IV**

Introducción ..... **V**

Índice general ..... **VII**

Índice de figuras ..... **XII**

Índice de tablas ..... **XV**

Capítulo I **1**

1. Planteamiento del problema **1**

1.1. Descripción del problema (mundial, país, región) 1

1.2. Delimitación del problema 2
1.2.1. Espacial (geográfica) 2
1.2.2. Temporal 2
1.2.3. Temática y unidad de análisis 2

1.3. Formulación del problema 3
1.3.1. Problema general 3
1.3.2. Problemas específicos 3

1.4. Justificación e importancia 4

1.5. Limitaciones de la investigación 4

1.6. Objetivos 5
1.6.1. Objetivo general 5
1.6.2. Objetivos específicos 5

Capítulo II **6**

2. Marco teórico **6**

2.1. Antecedentes 6
2.1.1. Investigaciones internacionales. 7
2.1.2. Investigaciones nacionales 10
2.1.3. Investigaciones locales 11

2.2. Bases teóricas 12
2.2.1. Concreto 12
2.2.2. Características del Concreto 12
2.2.3. Propiedades del Concreto 12
2.2.4. Materiales componentes del concreto 13

2.2.5. Propiedades esenciales de los agregados según normas técnicas 13
2.2.6. Diseño de mezclas de concreto 13
2.2.7. Métodos del diseño de mezclas de concreto 14
2.2.8. Inteligencia Artificial (IA) 14
2.2.9. Modelo con Redes Neuronales Artificiales 15
2.2.10. Herramienta de aplicación 27
2.2.11. Sistema de predicción 29
2.3. Marco conceptual 46
Capítulo III 48
3. Método de la investigación 48
3.1. Enfoque 48
3.2. Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo) 48
3.3. Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental) 48
3.4. Población y muestra 48
3.5. Hipótesis 49
3.5.1. Hipótesis general 49
3.5.2. Hipótesis específicas 49
3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional 50
3.7. Técnicas e instrumentos 50
3.7.1. Técnicas de recolección de datos 50
3.7.2. Instrumentos esenciales de recolección de datos 50
3.7.3. Materiales y equipos 51
3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información 53
3.9. Desarrollo del trabajo de tesis 53
3.9.1. Validación experimental para el modelado predictivo 55
3.9.2. Modelado predictivo mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA) 62
3.9.3. Regresión lineal múltiple para el modelado estadístico 90
3.9.4. Comparación de modelos predictivos: RNA vs. RLMM 111
3.9.5. Evaluación del modelo RNA respecto al ACI 211.1 115
Capítulo IV 122
4. Resultados y discusión 122
4.1. Introducción del capítulo 122
4.2. Contrastación de la hipótesis general 122
4.3. Contrastación de las hipótesis específicas 124
4.3.1. Hipótesis específica 1 124
4.3.2. Hipótesis específica 2 125
4.3.3. Hipótesis específica 3 126
4.3.4. Hipótesis específica 4 127
4.4. Análisis global de validación 129
4.4.1. Síntesis de aceptación de todas las hipótesis 130
4.4.2. Relación con estudios previos 130

4.5. Conclusión del capítulo 131

Capítulo V 132

5. Conclusiones 132

5.1. Conclusión general 132

5.2. Conclusiones específicas....132

5.3. Recomendaciones. 133

5.4. Trabajos futuros....134

Referencias bibliográficas....135

Acrónimos 142

Glosarios 143

Lista de símbolos....144

Anexo A 145

A. Matriz de consistencia, validación de instrumentos y confiabilidad de instrumento 145

A. 1. Matriz de consistencia 145

A. 2. Validación de instrumentos y confiabilidad de instrumento 146

Anexo B 148

B.1. Propiedades físicas de los agregados cantera “La Moderna”....148

B.1.1. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M1) 148

B.1.2. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M1)....151

B.1.3. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M1) 152

B.1.4. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M1) 153

B.1.5. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M2) 154

B.1.6. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M2)....157

B.1.7. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M2) 158

B.1.8. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M2) 159

B.1.9. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M3) 160

B.1.10. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M3)....163

B.1.11. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M3) 164

B.1.12. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M3) 165

B.2. Propiedades físicas de los agregados cantera “Chillico” 166

B.2.1. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M1) 166

B.2.2. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017. – (M1)....169

B.2.3. Ensayo de Pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022. – (M1) 170

B.2.4. Ensayo de contenido de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M1)...171
B.2.5. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M2) 172
B.2.6. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017. – (M2).....175
B.2.7. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022. – (M2) 176
B.2.8. Ensayo de contenido de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M2)...177

Anexo C 178

C.1. Diseños de mezclas concreto cantera “La Moderna” (laboratorio).....178
C.1.1. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M1) 178
C.1.2. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M2) 183
C.1.3. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M3) 188

C.2. Diseños de mezclas concreto cantera “Chillico” (laboratorio).....193
C.2.1. Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M1).....193
C.2.2. Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M2).....198

Anexo D 203

D.1. Diseños de mezclas de concreto – cantera “La Moderna” (investigador) 203
D.1.1. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM1, cantera La Moderna....203
D.1.2. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM2, cantera La Moderna....209
D.1.3. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM3, cantera La Moderna. ...215

D.2. Diseños de mezclas de concreto – cantera “Chillico” (investigador).....221
D.2.1. Diseño de mezclas de concreto – muestra CM1, cantera Chillico.....221
D.2.2. Diseño de mezclas de concreto – muestra CM2, cantera Chillico.....227

Anexo E.....233

E.1. Ensayos a la resistencia a la compresión cantera “La Moderna”.....233
E.1.1. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm^2 233
E.1.2. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=175 Kg/cm^2 234
E.1.3. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=210 Kg/cm^2 235
E.1.4. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm^2 236
E.1.5. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=175 Kg/cm^2 237
E.1.6. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=210 Kg/cm^2 238
E.1.7. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm^2 239
E.1.8. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=175 Kg/cm^2 240
E.1.9. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=210 Kg/cm^2 241

E.2. Ensayos a la resistencia a la compresión cantera “Chillico” 242
E.2.1. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm^2 242
E.2.2. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=175 Kg/cm^2 243
E.3.3. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=210 Kg/cm^2 244
E.4.4. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm^2 245
E.5.5. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=175 Kg/cm^2 246
E.6.6. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=210 Kg/cm^2 247

Anexo F.....248

F1. Datos de entrada y salida para el entrenamiento del modelo de RNA.....248

F2. Fuentes de datos empleadas en la conformación de la base de datos.....265

Anexo G 266

G. Herramienta Matlab 266
G.1. Herramientas en MATLAB: NeuroMAT Toolbox v1.0.....266
G. 2. Configuración de la Red Neuronal.....266
G. 3. Funcionalidades adicionales.....270
G. 4. Guía de uso del programa NeuroMAT Toolbox v1.0.....271

Anexo H 275

H. Resultados de los modelos de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM) 275

Anexo I.....281

I. Panel fotográfico.....281

I.1. Ensayos de propiedades físicas de los agregados – cantera “La Moderna” 281

I.2. Ensayos de propiedades físicas de los agregados – cantera “Chillico”.....282

I.3. Proceso de elaboración de probetas y ensayos de resistencia a la compresión 283

Anexo J.....285

J. Certificado de calibración.....285

Anexo K 299

k.1. Ficha técnica del cemento 299

k.2. Informe de calidad del cemento 301

Índice de figuras

Figura 1 Elementos neurales....16
Figura 2 Comparación entre una neurona biológica y una neurona....17
Figura 3 Analogías entre neurona biológica y artificial....17
Figura 4 Tipos de neuronas artificiales....18
Figura 5 Modelo de neurona estándar....19
Figura 6 Clasificación de los modelos de redes neuronales artificiales....21
Figura 7 Backpropagation....22
Figura 8 Arquitectura de las redes neuronales artificiales....23
Figura 9 Función de pérdida....24
Figura 10 Efecto de la tasa de aprendizaje....26
Figura 11 MATLAB – Herramienta de Aplicación....28
Figura 12 *Interfaz gráfica de redes neuronales (NeuroMAT Toolbox v1.0)* 29
Figura 13 Flujo de predicción de la dosificación del concreto 30
Figura 14 Esquema del diseño de la red neuronal – MATLAB....40
Figura 15 Estructura RNA utilizada en esta investigación....41
Figura 16 Arquitectura óptima de la RNA 41
Figura 17 Proceso de entrenamiento de una RNA....42
Figura 18 Diagrama de flujo del desarrollo del trabajo de tesis....54
Figura 19 Imagen satelital de la cantera “La Moderna”, zona Pucapampa-Chillico....55
Figura 20 Imagen satelital de la cantera “Chillico”, zona Pucapampa-Chillico 56
Figura 21 Flujo del modelo predictivo basado en RNA 63
Figura 22 Interfaz gráfica Normalización y Desnormalización Avanzada de Datos....64
Figura 23 Interfaz gráfica NeuroMAT Toolbox v1.0 desarrollada en MATLAB 68
Figura 24 Variación de R y R^2 con Nº de neuronas 70
Figura 25 Variación MSE vs Neuronas....70
Figura 26 Variación de RMSE vs Neuronas....71
Figura 27 Variación de MAE vs Neuronas....71
Figura 28 Variación de R vs Neuronas 72
Figura 29 Variación de R^2 vs Neuronas....72
Figura 30 Variación de R_Train vs Neuronas 73
Figura 31 Variación de R_Validation vs Neuronas....73
Figura 32 Variación de R_Test vs Neuronas 74
Figura 33 Variación de R_All vs Neuronas 74

Figura 34 Tiempo de entrenamiento vs Neuronas 75
Figura 35 Épocas de entrenamiento vs Neuronas 75
Figura 36 Desempeño del entrenamiento de la red neuronal “Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18” (Error cuadrático medio vs. épocas).....77
Figura 37 Desempeño de la red neuronal en regresión (época 169) 77
Figura 38 Validación con los datos reales: Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18.....78
Figura 39 Valores pronosticados por Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18 79
Figura 40 Errores de validación.....80
Figura 41 Análisis gráfico entre los valores reales (ACI 211.1) y predichos por la RNA 82
Figura 42 Comparación real vs pronóstico-cemento (kg/m³) con el modelo de RNA .86
Figura 43 Comparación real vs pronóstico-agregado fino (kg/m³) con el modelo de RNA 87
Figura 44 Comparación real vs pronóstico-agregado grueso (kg/m³) con el modelo de RNA 88
Figura 45 Comparación real vs pronóstico-agua (l/m³) con el modelo de RNA.....89
Figura 46 Comparación de R^2 por variable en el modelo RNA 90
Figura 47 Q-Q Chi-cuadrado para residuos multivariados 99
Figura 48 Gráfico de residuos vs. valores ajustados.....100
Figura 49 Gráfico de correlación serial de MD^2.....101
Figura 50 Comparación de valores reales y predichos: ACI 211.1 vs. modelo RLMM 105
Figura 51 Comparación real vs. pronóstico de cemento grueso (kg/m³) con el modelo RLMM 107
Figura 52 Comparación real vs. pronóstico de agregado fino (kg/m³) con el modelo RLMM 108
Figura 53 Comparación real vs. pronóstico de agregado grueso (kg/m³) con el modelo RLMM 109
Figura 54 Comparación real vs. pronóstico de agua (l/m³) con el modelo RLMM 110
Figura 55 Comparación de R^2 por variable en el modelo RLMM.....111
Figura 56 Precisión de RNA y RLMM en predicción de componentes de concreto...112
Figura 57 Comparación de modelos RNA vs RLMM - desempeño global.....113
Figura 58 Variación de modelos de predicción de mezcla de concreto.....114
Figura 59 Bland-Altman para cemento: RNA vs ACI 211.1.....116
Figura 60 Bland-Altman para agregado fino: RNA vs ACI 211.1.....117

Figura 61 Bland-Altman para agregado grueso: RNA vs ACI 211.1.....118
Figura 62 Bland-Altman para agua: RNA vs ACI 211.1 118
Figura 63 Programa NeuroMAT Toolbox v1.0 271
Figura 64 Interfaz del programa NeuroMAT Toolbox v1.0 272
Figura 65 Desempeño del modelo mediante las métricas.....273
Figura 66 Carga de datos reales y Validación en el panel de entrenamiento.....273
Figura 67 NeuroMAT Toolbox: comparación y correlación de resultados 274
Figura 68 Panel de métricas y opciones de exportación en NeuroMAT Toolbox 274
Figura 69 Preparación de muestra para granulometría del agregado grueso – cantera "La Moderna".....281
Figura 70 Ensayo de granulometría en tamices del agregado grueso – cantera "La Moderna".....281
Figura 71 Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – cantera "La Moderna".....281
Figura 72 Ensayo para peso específico y absorción del agregado fino – cantera "La Moderna".....281
Figura 73 Ensayo de granulometría en tamices del agregado fino – cantera "Chillico" 282
Figura 74 Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino – Cantera "Chillico" 282
Figura 75 Ensayo para peso específico y absorción del agregado fino – cantera "Chillico" 282
Figura 76 Ensayo del contenido de humedad – cantera "Chillico" 282
Figura 77 Selección y pesado de materiales para elaboración de concreto – cantera "La Moderna".....283
Figura 78 Selección y pesado de materiales para elaboración de concreto – cantera "Chillico" 283
Figura 79 Mezclado de materiales en la mezcladora.....283
Figura 80 Medición del Slump de la mezcla.....283
Figura 81 Compactado del concreto por varillado en capas 284
Figura 82 E Probetas en proceso de curado en tanque de agua 284
Figura 83 Ensayo de resistencia a la compresión en prensa hidráulica – Probeta cantera "La Moderna".....284
Figura 84 Ensayo de resistencia a la compresión en prensa hidráulica – Probeta cantera "Chillico" 284

Índice de tablas

Tabla 1 Funciones de transferencia o activación en redes neuronales 19
Tabla 2 Datos de entrada y valores de salida del sistema modelado 39
Tabla 3 Operacionalización de variables.....50
Tabla 4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....51
Tabla 5 Materiales, aparatos y equipos utilizados en la validación experimental 51
Tabla 6 Materiales, aparatos y equipos para preparación y ruptura de probetas de concreto 52
Tabla 7 Requerimientos de Hardware y Software para la configuración de la RNA ...52
Tabla 8 Propiedades de los agregados – cantera “La Moderna”, muestra MM1 57
Tabla 9 Propiedades de los agregados – cantera “La Moderna”, muestra MM2 57
Tabla 10 Propiedades de los agregados – cantera “La Moderna”, muestra MM3 57
Tabla 11 Propiedades de los agregados – cantera “Chillico”, muestra CM1 58
Tabla 12 Propiedades de los agregados – cantera “Chillico”, muestra CM2 58
Tabla 13 Humedad contenida según resistencias de diseño –cantera “La Moderna”.58
Tabla 14 Humedad contenida según resistencias de diseño – cantera “Chillico” 58
Tabla 15 Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera “La Moderna”, muestra MM1 59
Tabla 16 Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera “La Moderna”, muestra MM2 59
Tabla 17 Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera “La Moderna”, muestra MM3 60
Tabla 18 Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera “La Chillico”, muestra CM1.....60
Tabla 19 Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera “Chillico”, muestra CM2.....60
Tabla 20 Distribución de probetas para cada ensayo.....62
Tabla 21 18 variables de entrada para la validación de resultados 65
Tabla 22 Selección del modelo RNA con número óptimo de neuronas 69
Tabla 23 Resultados del entrenamiento del modelo de RNA en NeuroMAT Toolbox v1.0 76
Tabla 24 Datos experimentales para la validación del modelo RNA 79
Tabla 25 Dosificaciones de mezcla predichas por el modelo de RNA.....80

Tabla 26 Comparación entre la dosificación real (ACI 211.1) y pronosticada por el modelo de RNA.....81
Tabla 27 Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones reales y pronosticadas por el modelo de RNA.....85
Tabla 28 Desempeño del modelo RNA en la predicción de materiales del concreto..89
Tabla 29 Métricas de bondad de ajuste por variable de salida – RLMM.....95
Tabla 30 Resultados de ANOVA para cada variable respuesta del modelo de RLMM 96
Tabla 31 Pruebas multivariadas MANOVA utilizadas para evaluar la significancia global del modelo de RLMM 98
Tabla 32 Dosificaciones de mezcla predichas por el modelo de RLMM.....103
Tabla 33 Comparación entre la dosificación real y pronosticada por el modelo de RLMM 104
Tabla 34 Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones experimentales y pronosticadas por el modelo de RLMM 106
Tabla 35 Resumen de métricas de desempeño del modelo de RLMM.....110
Tabla 36 Métricas de validación externa por variable para el modelo RNA. 112
Tabla 37 Métricas de validación externa por variable para el modelo RLMM.....112
Tabla 38 Comparación de desempeño global promedio: RNA vs RLMM.....113
Tabla 39 Comparación del consumo de cemento y ahorro económico - Cantera “La Moderna”.....120
Tabla 40 Resumen por resistencia - Cantera “La Moderna”.....120
Tabla 41 Comparación del consumo de cemento y ahorro económico - Cantera “Chillico”.....121
Tabla 42 Resumen por resistencia - Cantera “Chillico” 121
Tabla 43 Cuadro resumen del Error Relativo Porcentual promedio (MAPE) y EP (%) máximo 127
Tabla 44 Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M1).....148
Tabla 45 Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M1) 149
Tabla 46 Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M1) 150
Tabla 47 Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M1) 151
Tabla 48 Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M1) 152
Tabla 49 Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M1).....153

Tabla 50 Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M2) 154
Tabla 51 Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M2) 155
Tabla 52 Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M2) 156
Tabla 53 Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M1) 157
Tabla 54 Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M2) 158
Tabla 55 Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M2).....159
Tabla 56 Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M3) 160
Tabla 57 Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M3) 161
Tabla 58 Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M3) 162
Tabla 59 Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M3) 163
Tabla 60 Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M3) 164
Tabla 61 Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M3).....165
Tabla 62 Granulometría del agregado grueso – cantera Chillico (M1).....166
Tabla 63 Granulometría del agregado fino – cantera Chillico (M1).....167
Tabla 64 Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera Chillico (M1).168
Tabla 65 Peso unitario de los agregados – cantera Chillico (M1).....169
Tabla 66 Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera Chillico (M1) 170
Tabla 67 Ensayos de contenidos de humedad – cantera Chillico (M1) 171
Tabla 68 Granulometría del agregado grueso – cantera Chillico (M2).....172
Tabla 69 Granulometría del agregado fino – cantera Chillico (M2).....173
Tabla 70 Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera Chillico (M2).174
Tabla 71 Peso unitario de los agregados – cantera Chillico (M2).....175
Tabla 72 Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera Chillico (M2) 176
Tabla 73 Ensayos de contenidos de humedad – cantera Chillico (M2) 177
Tabla 74 Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M1).....178
Tabla 75 Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M2).....183
Tabla 76 Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M3).....188
Tabla 77 Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M1) 193
Tabla 78 Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M2) 198

Capítulo I

1. Planteamiento del problema

Este capítulo aborda las implicancias generales del estudio, definiendo el problema, los objetivos, la justificación, las limitaciones y la hipótesis que orienta la investigación. Todo ello permite establecer un marco conceptual claro para guiar el desarrollo y validación de los resultados.

1.1. Descripción del problema (mundial, país, región)

La elaboración de mezclas de concreto es un elemento crucial en la ingeniería civil, pues asegura la calidad, la resistencia y la perdurabilidad de las construcciones. A escala global, el ámbito de la edificación se encuentra con retos vinculados a la maximización de recursos, la sostenibilidad y la reducción de errores en el diseño de mezclas, los cuales pueden resultar en fallas estructurales o en un uso ineficiente de los materiales. Además, la alta demanda de infraestructura impulsa la búsqueda de métodos más precisos y automatizados para mejorar el rendimiento del concreto. El concreto es el segundo material más utilizado a nivel mundial, siendo superado únicamente por el agua. Su composición habitual del concreto incluye cemento mezclado con agregado fino, agregado grueso y agua (Das et al., 2015). Uno de los desafíos clave es la elaboración de mezclas de concreto que logren una fusión ideal de materiales con las propiedades requeridas de resistencia, trabajabilidad (facilidad de mezcla), durabilidad, economía, etc., (Adil et al., 2022), al tiempo que se busca reducir el consumo de cemento y mejorar la eficiencia en el proceso de producción.

En el contexto nacional, Perú se encuentra en constante desarrollo de obras civiles debido al crecimiento económico y a la necesidad de infraestructura moderna. Sin embargo, en diversas regiones del país, las técnicas tradicionales de elaboración de mezclas de concreto aún son predominantes. En muchas regiones del Perú se ha explorado el uso de tecnologías emergentes, como las redes neuronales para la predicción de las resistencias del concreto, pero no abordan el problema del diseño de mezclas de concreto. Las redes neuronales artificiales (RNA) tienen la capacidad de aprender patrones y relaciones complejas a partir de conjuntos de datos, lo que las convierte en una herramienta prometedora para el diseño de mezclas de concreto. Al

tener una RNA para predecir una mezcla de concreto se ahorrará mucho tiempo y dinero (Adil et al., 2022); Asimismo, el modelo podría ser beneficioso para disminuir la cantidad de combinaciones experimentales, mano de obra y los gastos financieros (Yousif et al., 2010).

En este contexto, el principal aporte de la presente investigación radica en el desarrollo de un modelo predictivo mediante redes neuronales artificiales (RNA) que optimiza la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, adaptado a las condiciones físico-mecánicas de los materiales locales de Ayacucho. Este modelo responde a un vacío técnico en zonas andinas del Perú, donde se ha aplicado escasamente la inteligencia artificial en el diseño de mezclas. Las implicancias del estudio apuntan a modernizar procesos constructivos, reducir reprocesos y mejorar la calidad y sostenibilidad del concreto en contextos geológicos variables.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial (geográfica)

La investigación se desarrolló en la ciudad de Ayacucho, Perú, considerando las condiciones locales, los materiales disponibles y las exigencias constructivas de la región. Las muestras de agregados fueron recolectadas de canteras ubicadas en sus alrededores.

1.2.2. Temporal

La investigación se realizó durante nueve meses, desde junio 2024 hasta abril 2025. Durante este periodo se llevaron a cabo la recopilación de datos necesarios, se realizarán los experimentos y se aplicará la metodología propuesta.

1.2.3. Temática y unidad de análisis

La temática central de este estudio se enfoca en la aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezclas de concreto en la ciudad de Ayacucho, con un enfoque en la optimización de los materiales, la eficiencia y la adherencia a los criterios de calidad. *La unidad de análisis* de esta investigación comprende las **componentes materiales**, representadas por las mezclas de concreto diseñadas a partir de los

materiales disponibles en la ciudad de Ayacucho. Asimismo, incluye las **variables clave de diseño**, como las dosificaciones de cemento, agregados (fino y grueso) y agua, así como sus características granulométricas, de absorción y densidad. Finalmente, abarca los **modelos predictivos** generados mediante redes neuronales artificiales (RNA), los cuales facilitan la predicción y ajuste de mezclas, asegurando la resistencia deseada y mejorando la precisión del diseño.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo optimizar la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto mediante un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales disponibles en la ciudad de Ayacucho durante el año 2024?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿De qué manera el uso del modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales permite estimar con precisión las dosificaciones del concreto?

2. ¿Qué resultados se obtienen al predecir las dosificaciones del concreto utilizando una base de datos histórica disponible?

3. ¿Puede el modelo de redes neuronales artificiales predecir con alta precisión las dosificaciones del concreto?

4. ¿Cuál es la variación entre los valores predichos y experimentales de las dosificaciones del concreto, al aplicar redes neuronales artificiales frente a un modelo de RLMM?

1.4. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica por su aporte al desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas orientadas a optimizar el diseño de mezclas de concreto, un proceso fundamental en la ingeniería civil que incide directamente en la durabilidad, resistencia y economía de las estructuras. Tradicionalmente, dicho diseño se ha basado en métodos empíricos que, si bien han sido útiles, resultan costosos, demandan mucho tiempo y presentan limitaciones en cuanto a precisión. En este contexto, la aplicación de redes neuronales artificiales (RNA) representa una alternativa innovadora, al permitir la predicción precisa de los atributos del concreto y la optimización del uso de materiales (Adil et al., 2022; Das et al., 2015; Jamal & Ahmed, 2025). A nivel científico, esta investigación constituye un aporte relevante al aprendizaje automático, al aplicar modelos de RNA en un ámbito técnico y práctico altamente pertinente. Las RNA han demostrado un excelente desempeño en la resolución de problemas no lineales, consolidándose como herramientas clave en la gestión de la construcción (Liu et al., 2021). En particular, la investigación se enfoca en mejorar el diseño de mezclas en la ciudad de Ayacucho, adaptando las proporciones a sus condiciones locales. El modelo desarrollado no solo responde a una necesidad regional, sino que también resulta replicable en contextos similares, promoviendo sostenibilidad, eficiencia e innovación en la construcción.

1.5. Limitaciones de la investigación

A pesar de la importancia y el potencial de la investigación, existen diversas limitaciones que deben ser reconocidas:

- **Disponibilidad limitada de la base de datos:** La falta de datos suficientes y representativos puede afectar la precisión de las predicciones realizadas por las redes neuronales artificiales (RNA) en la dosificación del concreto.
- **Variabilidad en los materiales:** La variabilidad en las propiedades de los materiales locales puede influir en el desempeño del modelo, limitando la precisión de las predicciones.
- **Calidad y cantidad de los datos experimentales:** El alcance del modelo de RNA está condicionado por la calidad y cantidad de los datos disponibles para entrenar los modelos. La precisión de las predicciones dependerá de la representatividad de

los datos recolectados y de la capacidad del modelo para adaptarse a nuevos escenarios.

- **Complejidad computacional:** La implementación de RNA puede presentar barreras en términos de recursos y tiempo, especialmente en áreas con limitaciones tecnológicas.
- **Extrapolación geográfica:** Aunque la investigación se centra en una zona geográfica específica, los resultados obtenidos podrían no ser inmediatamente extrapolables a otras regiones sin realizar ajustes previos. Esto limita la aplicabilidad directa de los modelos de mezcla de concreto diseñados en este estudio.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales para optimizar la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales disponibles en la ciudad de Ayacucho durante el año 2024.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Analizar la contribución del modelo predictivo con redes neuronales artificiales en la estimación de las dosificaciones del concreto.

2. Evaluar la predicción de las dosificaciones del concreto a partir de una base de datos histórica disponible.

3. Evaluar la precisión del modelo de redes neuronales artificiales mediante el análisis del error relativo porcentual promedio en la predicción de las dosificaciones del concreto.

4. Evaluar las diferencias entre los valores predichos y experimentales de las dosificaciones del concreto utilizando redes neuronales artificiales y regresión lineal múltiple multivariante (RLMM).

Capítulo II

2. Marco teórico

En este capítulo se presenta una revisión del estado del arte en torno al uso de inteligencia artificial mediante RNA en el diseño de mezclas de concreto. Se abordan aplicaciones en la optimización de la dosificación, la representación del comportamiento del concreto, y el impacto de las condiciones locales en la formulación de mezclas, con énfasis en la ingeniería basada en el desempeño y la gestión de la construcción.

2.1. Antecedentes

Las primeras evidencias del uso de redes neuronales en dosificación del concreto se encontraron en investigaciones realizadas en la década de 1990. Uno de los investigadores destacados en este campo es Oh et al. (1999), en su investigación titulada *Application of Neural Networks for Proportioning of Concrete Mixes*, donde se emplea una red neuronal artificial como herramienta para reducir las incertidumbres y errores en la dosificación para mezclas de concreto. En su investigación, se utilizan no solo las resistencias a la compresión necesarias para entrenar y evaluar la red, sino también resistencias reales con variaciones obtenidas de pruebas finales relacionada con la resistencia compresiva e resistencia a la compresión. Los resultados indican que las redes neuronales poseen un significativo potencial como herramienta para la dosificación de mezclas de concreto. Además, Ji-Zong et al. (1999) realizaron un artículo titulado *The Application of Automatic Acquisition of Knowledge to Mix Design of Concrete*, en el que se crea un sistema automático de adquisición de conocimiento basado en redes neuronales para diseñar mezclas de concreto. Ni & Wang (2000) realizaron una investigación titulada *Prediction of Compressive Strength of Concrete by Neural Networks*, en la que se aplicaron modelos de redes neuronales para estimar la capacidad resistente a la compresión del concreto. Akkurt et al. (2003) desarrollaron el artículo titulado *The Use of GA–ANNs in the Modelling of Compressive Strength of Cement Mortar*, en el cual modelaron la resistencia a la compresión de morteros de cemento bajo condiciones estándar de curado mediante una red neuronal artificial. Estas investigaciones sentaron las bases para futuras investigaciones que exploraron el potencial de las redes neuronales en el diseño y la predicción de propiedades del concreto. Desde entonces, ha habido numerosos estudios y avances en el empleo de

redes neuronales artificiales dentro del campo de las mezclas de concreto, demostrando su eficacia y versatilidad en la optimización de diseños y la predicción de propiedades.

2.1.1. Investigaciones internacionales.

a) Ziyad et al. (2023) tuvieron como objetivo evaluar la viabilidad de aplicar algoritmos de aprendizaje automático para predecir la resistencia a la compresión y tracción del concreto. Para ello, emplearon varios modelos de regresión, incluyendo regresión de árbol, vector de soporte (SVR), conjunto (ER) y proceso gaussiano (GPR), utilizando datos obtenidos de publicaciones científicas. La metodología consideró el análisis del efecto del número de variables de entrada en el rendimiento predictivo de los modelos. Los resultados indicaron que el modelo GPR con función exponencial presentó el mejor desempeño, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,98 en la fase de entrenamiento y 0,99 en la fase de prueba. Además, mostró un error cuadrático medio (RMSE) bajo y un error absoluto medio (MAE) mínimo en ambas etapas, confirmando su alta precisión. Este modelo también destacó en la predicción de la resistencia a la tracción. En conclusión, los autores señalaron que aunque el número de variables de entrada influye poco en la resistencia a la tracción, sí mejora notablemente la precisión en la predicción de la resistencia a la compresión, facilitando así estimaciones rápidas y confiables del comportamiento mecánico del concreto mediante aprendizaje automático (Ziyad et al., 2023).

b) Con la finalidad de mejorar la predicción de las propiedades mecánicas del concreto, Dinesh et al. (2023) desarrollaron una investigación orientada a evaluar el uso de redes neuronales artificiales (RNA) como herramienta computacional para modelar las complejas relaciones entre los factores que influyen en la resistencia a la compresión de los compuestos cementicios. Para ello, implementaron un enfoque metodológico basado en una trama de diseño sistemática y el uso de ecuaciones correctivas que permitieron alimentar y ajustar el modelo neuronal. Este enfoque permitió capturar las no linealidades inherentes al comportamiento del concreto de manera más precisa que los métodos estadísticos convencionales. Los resultados obtenidos evidenciaron que las RNA presentaron una superioridad significativa frente a los modelos de regresión tradicionales, reduciendo notablemente los márgenes de error y mejorando la precisión de las estimaciones. Con una efectividad del 99.5% en la predicción de la resistencia a la compresión, el modelo propuesto no solo demostró alta exactitud, sino también

eficiencia en la optimización de la dosificación del concreto, logrando minimizar el desperdicio de materiales y reducir costos. En síntesis, el estudio concluye que las redes neuronales artificiales constituyen una herramienta eficaz y confiable para el diseño de mezclas de concreto, superando las limitaciones de los enfoques convencionales (Dinesh et al., 2023).

c) Adil et al. (2022) se propusieron establecer una estrategia eficiente para el diseño generalizado de mezclas de concreto, enfocándose en analizar cómo el número de neuronas y capas ocultas afecta el rendimiento de redes neuronales artificiales. Para ello, emplearon una base de datos clasificada y normalizada que incluyó variables de entrada relevantes como gravedad específica, densidad, tipo de cemento y relación agua-cemento, mientras que las salidas fueron los contenidos de agua, cemento, agregados finos y gruesos, además de adiciones minerales. El modelo configurado contó con 17 entradas y 5 salidas, y se evaluaron diferentes configuraciones de la red neuronal en función del número de capas ocultas. Los resultados mostraron que las redes con una o dos capas ocultas superaron en desempeño a aquellas con tres o más capas, indicando que arquitecturas más simples pueden ser suficientes y más eficientes para capturar la complejidad del diseño de mezclas de concreto. Así, el estudio concluyó que las redes neuronales bien ajustadas son una herramienta poderosa y universal para manejar la variabilidad del concreto, optimizando tiempo y costos en el diseño diseño (Adil et al., 2022).

d) Con el propósito de estimar las proporciones óptimas de los componentes del hormigón para diversas resistencias, López & Ontaneda (2021) desarrollaron un modelo predictivo fundamentado en redes neuronales artificiales. La metodología consistió en la elaboración de un código computacional para estructurar la red y alimentar el sistema con una base de datos obtenida de mezclas tradicionales que utilizaban cemento tipo GU sin la incorporación de aditivos. Posteriormente, la red neuronal fue entrenada con dichos datos y se evaluó su desempeño mediante la comparación de resultados obtenidos con ensayos de laboratorio realizados sobre especímenes de concreto. En cuanto a los resultados, el modelo mostró una capacidad predictiva satisfactoria, evidenciada en un coeficiente de determinación del 96.57 % entre los valores estimados por la red y los resultados reales para mezclas con resistencias entre 21 MPa y 28 MPa. Como conclusión, el estudio demostró que las redes neuronales artificiales representan una herramienta eficaz para el diseño de mezclas de concreto con precisión aceptable,

adaptándose a diferentes características de agregados del cantón Quito (López & Ontaneda, 2021).

e) Ziolkowski & Niedostatkiewicz (2019) realizaron un estudio con el objetivo de demostrar la eficacia de las técnicas de aprendizaje automático, particularmente las redes neuronales artificiales, en el diseño de mezclas de concreto. Para ello, consideraron como variables de entrada la resistencia a la compresión, el módulo de fineza de la arena, el tamaño máximo nominal del agregado, el asentamiento (slump) y el peso del agregado grueso. La base de datos utilizada constó de 741 registros, de los cuales 395 se emplearon para entrenamiento y 134 para pruebas, descartándose el resto aleatoriamente. Durante el proceso de entrenamiento, se implementaron algoritmos de optimización como Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno y Brent, propios del enfoque cuasi-Newton, con el fin de ajustar de manera eficiente la tasa de aprendizaje y la dirección de los pasos. Los resultados indicaron que la cantidad de cemento fue el parámetro con mayor impacto en la predicción, y que la relación agua/cemento desempeña un rol fundamental en el aumento de la resistencia del concreto. Una aportación importante del estudio fue la conversión de la arquitectura de la red en una expresión matemática, lo cual facilita su integración en aplicaciones prácticas dentro del campo de la ingeniería civil (Ziolkowski & Niedostatkiewicz, 2019).

f) Ullah & Adil (2017) desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue establecer un modelo generalizado basado en redes neuronales artificiales para predecir el diseño de mezclas de concreto. La metodología consistió en la utilización de una extensa base de datos conformada por 2903 registros experimentales, en la que se consideraron 17 propiedades del concreto como variables independientes y 5 parámetros de diseño como variables dependientes. En el proceso de entrenamiento, los autores evaluaron diversas configuraciones de redes con el fin de determinar la estructura más eficiente en términos de capacidad de generalización. Sorprendentemente, se logró un desempeño satisfactorio incluso con una arquitectura simple de solo dos neuronas en la capa oculta, alcanzando un coeficiente de determinación de 0,911. Este resultado evidencia que, cuando se dispone de una base de datos suficientemente representativa, las redes neuronales artificiales tienen la capacidad de modelar eficazmente relaciones no lineales complejas, convirtiéndose en una alternativa viable y precisa para el diseño predictivo de mezclas de concreto (Ullah & Adil, 2017).

2.1.2. Investigaciones nacionales

a) Loayza & Ramos (2023) llevaron a cabo una investigación cuyo propósito fue plantear una alternativa al método tradicional de diseño de mezclas de concreto, aplicando redes neuronales artificiales como herramienta de inteligencia artificial. Para ello, desarrollaron una metodología que incluyó la selección de materiales provenientes de las canteras “La Poderosa”, “Socabaya” y “Huayco”, además del uso del cemento “Yura IP”, seleccionados en función de encuestas realizadas a profesionales del sector y un análisis matemático que consideró su aporte a la resistencia y su costo. Con estos insumos, construyeron una base de datos basada en diseños previos en la ciudad de Arequipa, y programaron un modelo de red neuronal en el entorno Python (Spyder) para generar mezclas con resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm². Los resultados evidenciaron que el modelo predijo satisfactoriamente la resistencia a la compresión del concreto en dichas mezclas. Por tanto, se concluyó que el uso de redes neuronales artificiales representa una herramienta válida y eficiente para optimizar tanto la resistencia como el costo del concreto, superando las limitaciones de los métodos convencionales (Loayza & Ramos, 2023).

b) Cunza & Mollinedo (2021) desarrollaron una investigación orientada a optimizar el diseño del concreto mediante la aplicación de redes neuronales artificiales, con el objetivo de reducir el consumo de cemento Portland tipo I en mezclas convencionales. La metodología consistió en aplicar técnicas de inteligencia artificial para modelar y predecir con alta precisión la cantidad óptima de cemento en mezclas provenientes de la cantera Sencca, en Cusco. Se entrenaron redes neuronales con datos locales, considerando como parámetro de salida la resistencia deseada del concreto, establecida en 210 kg/cm². Los resultados mostraron una reducción del 20 % en el uso de cemento sin comprometer la resistencia a la compresión del concreto. Esta disminución representó beneficios tanto económicos como ambientales, además de validar técnicamente la eficacia de las redes neuronales para este propósito. Se concluyó que la inteligencia artificial, y en particular las redes neuronales, representa una alternativa eficiente y sostenible frente a los métodos tradicionales, al permitir optimizar el consumo de materiales manteniendo el desempeño estructural del concreto (Cunza & Mollinedo, 2021).

c) Sandoval & Bernabé (2021) realizaron una investigación orientada a optimizar el ensayo de resistencia a la compresión del concreto mediante el uso de una Red Neuronal Artificial (RNA), con el propósito de mejorar la precisión en los resultados. Se emplearon 294 probetas, de las cuales 240 se destinaron al entrenamiento y validación del modelo, y el resto a evaluar su capacidad predictiva. La base de datos se construyó a partir de cinco dosificaciones distintas, considerando propiedades físicas y mecánicas de los materiales, según el método ACI 211 (2009), la norma ASTM C192 y la Normativa Técnica Peruana. Para asegurar la calidad de los datos, se aplicó el test de Grubbs, eliminando valores atípicos. El modelo desarrollado fue una red neuronal profunda de aprendizaje supervisado, con función de activación ReLU, uso de bibliotecas en Python y retropropagación como algoritmo de entrenamiento. Los resultados indicaron coeficientes de determinación R^2 de 0.9241 en la fase de entrenamiento y 0.8192 en validación, demostrando la eficacia del modelo propuesto en la estimación precisa de la resistencia del concreto (Sandoval & Bernabé, 2021).

d) Gozanlez (2018) tuvo como objetivo desarrollar un modelo predictivo mediante redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la compresión axial del concreto. Para ello, se elaboraron 79 probetas con distintas dosificaciones, ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, según las normas E-060 (2009), ASTM C-39 y NTP 339.034.2008. La red neuronal consideró once variables de entrada relacionadas con los materiales y el tiempo de curado. Se aplicó el algoritmo de Levenberg-Marquardt con retropropagación del error, distribuyendo los datos en 70 % para entrenamiento, 15 % para validación y 15 % para prueba, utilizando Python y Matlab. Como resultado, se obtuvo un coeficiente de determinación global de R = 0.99113 y un error inferior al 1 %. Se concluyó que este modelo constituye una alternativa precisa y eficaz al diseño tradicional de mezclas de concreto.

2.1.3. Investigaciones locales

a) Anyosa (2018) tuvo como objetivo desarrollar una función analítica para estimar en tiempo real la resistencia del concreto a partir de las cantidades y propiedades de sus insumos en estado fresco. Para ello, recopiló una base de datos automatizando nomogramas del método ACI 211.1 y aplicó técnicas de interpolación y extrapolación. El modelado se realizó con funciones base y el Método de los Mínimos Cuadrados Lineales Generalizados, resolviendo problemas de matrices singulares mediante

descomposición en valores singulares. El modelo predictivo se implementó con algoritmos en C++, logrando estimaciones precisas y eficientes (Anyosa, 2018)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es un material heterogéneo y complejo, compuesto principalmente de cemento Portland, agua, áridos finos y gruesos, además de aditivos químicos y minerales que mejoran sus propiedades. Esta mezcla se diseña en proporciones específicas con el propósito de alcanzar características predefinidas, siendo la resistencia mecánica una de las propiedades más relevantes en su desempeño (Abanto Castillo, 2009; Dinesh et al., 2023).

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND+AGREGADOS+AIRE+AGUA

2.2.2. Características del Concreto

Según Abanto (2009) los factores que hacen del concreto un material de construcción Universal tenemos: como su facilidad de moldeo en diversas formas y alta resistencia a la compresión, ideal para elementos como columnas y arcos. También destaca por su resistencia al fuego y al agua. Sin embargo, presenta desafíos, como la posible falta de control de calidad en su producción in situ y su baja resistencia a la tracción, limitando su uso en elementos sujetos a esta fuerza.

2.2.3. Propiedades del Concreto

Según Abanto (2009) las propiedades del concreto se refieren a las características físicas y mecánicas que determinan su calidad y comportamiento. Incluyen resistencia, durabilidad, trabajabilidad, consistencia, impermeabilidad, exudación y densidad, y son fundamentales para asegurar la eficiencia y seguridad en la construcción de estructuras y edificaciones.

2.2.4. Materiales componentes del concreto

Abanto (2009), el concreto está constituido por varios componentes, cada uno con propiedades distintivas y funciones específicas que le otorgan su condición de material predominante en la construcción. Los principales elementos que conforman el concreto son:

- **LIGANTES**
  - ✓ Cemento
  - ✓ Agua
- **AGREGADOS**
  - ✓ Agregado fino: arena
  - ✓ Agregado grueso: grava, piedra chancada, confitillo, escoria de hornos.

OBSERVACIÓN

CEMENTO + AGUA = PASTA

2.2.5. Propiedades esenciales de los agregados según normas técnicas

Las propiedades de los agregados se refieren a características físicas y químicas que influyen en la calidad del concreto. Esto abarca la forma, tamaño, textura, densidad o peso específico, absorción de agua, contenido de humedad, abrasión y resistencia. Estas cualidades son esenciales para determinar la adecuación de los agregados en la mezcla de concreto y su desempeño en la construcción, y se realizarán con las NTP (Norma Técnica Peruana) o la ASTM (American Society for Testing and Materials).

2.2.6. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto es el proceso de determinar las proporciones adecuadas de los materiales (cemento, agua, agregados y aditivos) para obtener un concreto con las propiedades deseadas y óptimas en estado fresco y endurecido (Bartz, 2016).

Para llevar a cabo un diseño de mezcla de concreto, se siguen los siguientes pasos:

1. Elección de la resistencia promedio (f'_{cr}).
2. Elección del Asentamiento (Slump).
3. Elección del tamaño máximo del agregado grueso.
4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.
5. Selección de la relación agua/cemento (a/c).
6. Cálculo del contenido de cemento, considerando la relación a/c y la cantidad de agua determinada.

7. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
8. Ajustes por humedad y absorción.
9. Cálculo de proporciones en peso.
10. Cálculo de proporciones en volumen.

2.2.7. Métodos del diseño de mezclas de concreto

A principios del siglo XX (1900), investigadores como Feret, Füller y Thompson, Abrams, Bolomey, entre otros, marcaron un hito crucial en el desarrollo del concreto como material de construcción (Giraldo, 1987). Los métodos de diseño de mezclas de concreto constituyen procedimientos técnicos estructurados que permiten establecer con precisión las cantidades necesarias de cada componente cemento, agua, agregados y aditivos. Estos métodos, como el del comité 211 del ACI, módulo de finura, Walker, Füller-Thompson, Walker, Bolomey y Faury, se emplean para lograr las características de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y otras propiedades específicas requeridas para un proyecto de construcción particular.

2.2.8. Inteligencia Artificial (IA)

Según el autor Ponce (2010) en su libro “Inteligencia Artificial. Con Aplicaciones a la Ingeniería “en 1958, John McCarthy (quien por muchos es considerado el padre de esta área), introduce el término “inteligencia artificial”. El destacado experto en IA, Sebastian Thrun, opina que sería más apropiado referirse a este campo como “ciencia de datos” (Rouhiainen, 2020). La inteligencia artificial es un campo complejo, es posible encontrar diversas definiciones al respecto por lo que no hay una definición general del IA, en la siguiente sección se da algunas definiciones.

2.2.8.1. Definición

“La habilidad de los ordenadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana.” “IA es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano. Sin embargo, a diferencia de las personas, los dispositivos basados en IA no necesitan descansar y pueden analizar grandes volúmenes de información a la vez. Asimismo, la proporción de errores es significativamente menor en las máquinas que realizan las mismas tareas que sus contrapartes humanas.” (Rouhiainen, 2020)

“La IA es una rama de las ciencias computacionales encargada de estudiar modelos de cómputo capaces de realizar actividades propias de los seres humanos en base a dos de sus características primordiales: el razonamiento y la conducta.” (Takeyas, 2007)

2.2.8.2. Ramas que componen la Inteligencia Artificial

Ponce (2010) menciona que la Inteligencia Artificial se compone de varios elementos, entre los cuales destacan tres principales ramas:

- Lógica difusa
- Redes neurales artificiales
- Algoritmos genéticos

Cada una posee atributos particulares y desempeña una función específica. En la próxima sección, se detalla sistemas que replican el pensamiento humano. Un ejemplo de esto son las **Redes Neuronales Artificiales (RNA)**, que simulan el funcionamiento del sistema nervioso humano para procesar información y aprender de los datos.

2.2.9. Modelo con Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), conocidas como ANN en inglés (Artificial Neural Networks), surgieron en 1943 cuando Warren McCulloch y Walter Pitts desarrollaron el primer esquema básico de una neurona. En las décadas de 1950 y 1970, B. Widrow y M. E. Hoof avanzaron en el campo con la creación de *Adaline* (Elemento Lineal Adaptativo). Paralelamente, Frank Rosenblatt, psicólogo de la Universidad de Cornell, diseñó en 1959 el perceptrón, una máquina neural simple (Ponce, 2010). Con el tiempo, las RNA se han consolidado como una técnica ampliamente implementada en inteligencia artificial (Alvarado & Gonzalo, 2022), inspirada en la estructura y el funcionamiento de las neuronas biológicas (McCulloch & Pitts, 1943).

En ingeniería civil, las RNA se han aplicado en la detección de daños estructurales(Wu et al., 1992), identificación de sistemas estructurales (Chen & Shah, 1992; Pal et al., 1994), modelado de materiales (Ghaboussi et al., 1991), optimización estructural (Adeli & Park, 1995), control estructural (Chen et al., 1995) monitoreo de aguas subterráneas (Ranjithan et al., 1993), y dosificación de la mezcla de concreto (Oh et al., 1999). Actualmente, arquitecturas más avanzadas como redes neuronales convolucionales

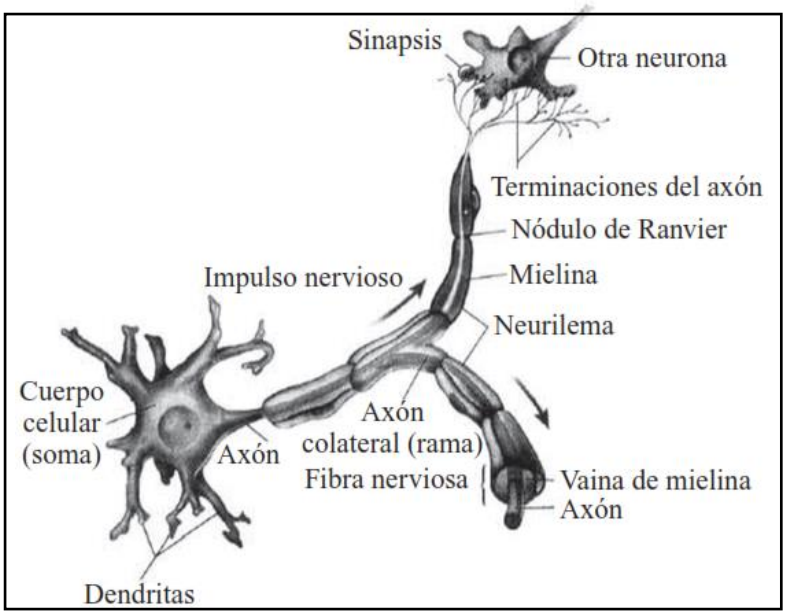
(CNN) y recurrentes (RNN) destacan en reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje e imágenes, consolidando su relevancia en la resolución de problemas complejos (Hilera & Martinez, 1995; Ponce, 2010).

2.2.9.1. Fundamentos neurobiológicos de las redes neuronales naturales

Según Ponce (2010), una neurona biológica es una unidad especializada en procesar información. Está formada por el soma (cuerpo) y dos tipos de ramificaciones: el axón (salida) y las dentritas (entrada). La célula neuronal recibe señales (impulsos) de otras células a través de sus dendritas y transmite señales generadas por el cuerpo celular a través del axón. La **Figura 1** ilustra los componentes de una red neuronal natural.

Una Red Neuronal Artificial (RNA) es un modelo matemático basado en la estructura de las redes neuronales biológicas. Su unidad fundamental es una neurona, un procesador que realiza una suma ponderada de sus entradas y aplica una función para producir una señal que se transmite a otra neurona (Ver **Figura 2**) (Lao et al., 2017).

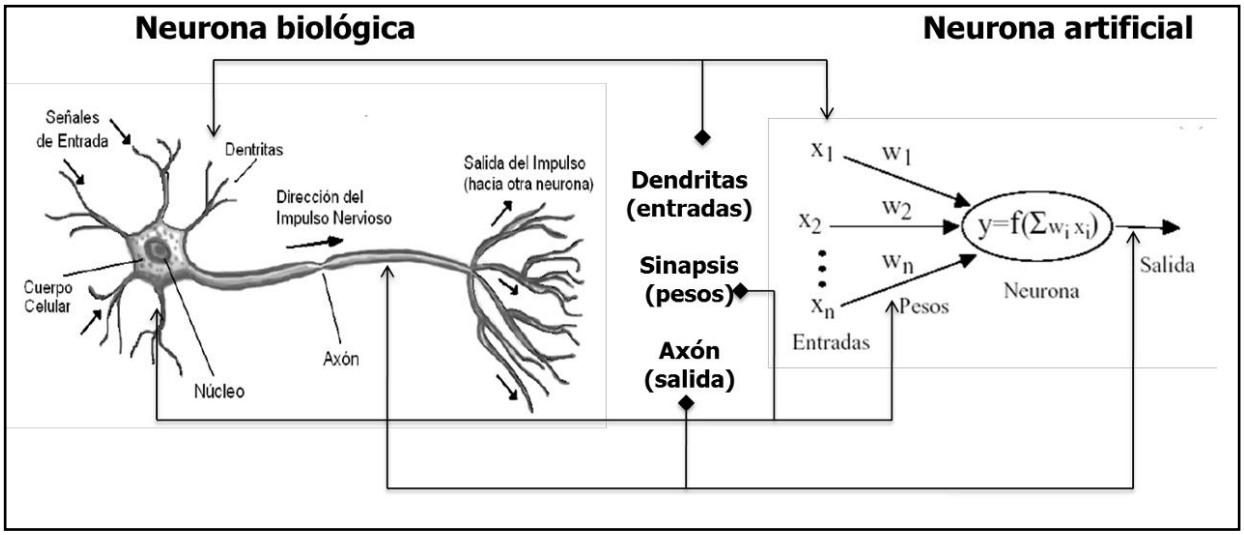
Figura 1
Elementos neurales



Nota: (Ponce, 2010)

Figura 2

Comparación entre una neurona biológica y una neurona

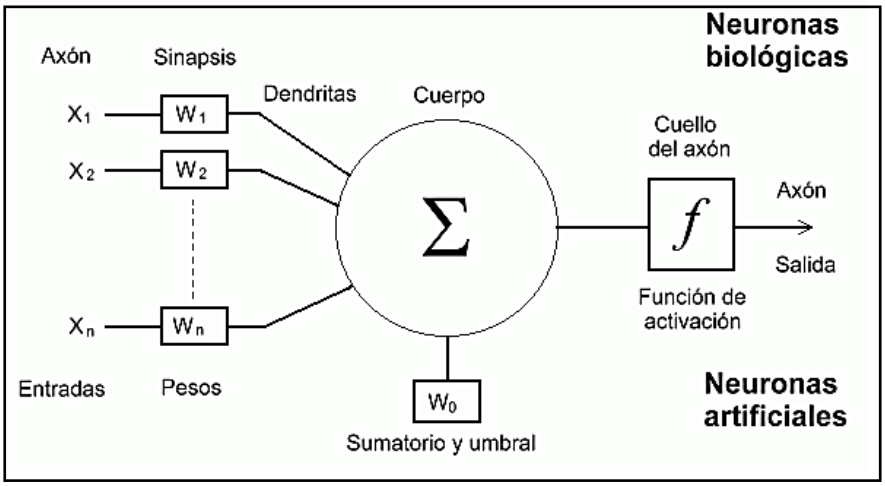


Nota: (Lao et al., 2017)

En la **Figura 3** se ilustran las analogías existentes entre una neurona biológica y una neurona artificial:

Figura 3

Analogías entre neurona biológica y artificial

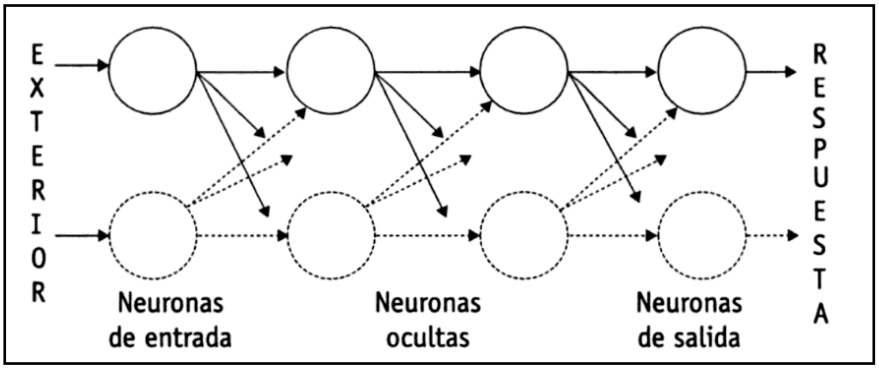


Nota: (Hertz et al., 1991)

2.2.9.2. Características de una red neuronal

Para López & Fernández (2008) existen tres tipos de neuronas artificiales: unidades de entrada, de salida y unidades ocultas (**Figura 4**):

Figura 4
Tipos de neuronas artificiales



Nota*:* (López & Fernández, 2008)

2.2.9.3. Modelo estándar de neurona artificial

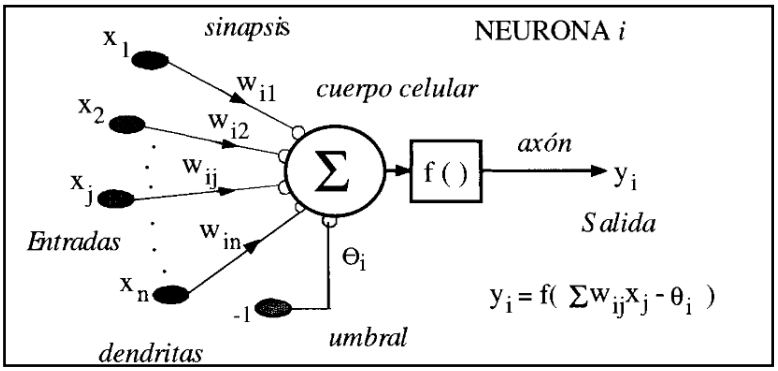
La neurona es la unidad básica de una RNA, siendo el modelo McCulloch-Pitts el más común. Iglesias (2004) en su tesis doctoral destaca que, en 1943, McCulloch y Pitts crearon una neurona artificial con sumador y función de activación. La **Figura 5** ilustra las conexiones (sinapsis) de una neurona y su similitud con la biológica (Martin & Sanz 2002). Consiste en las siguientes partes:

- Un conjunto de **entradas** $x_j(t)$ y pesos sinápticos w_{ij} de la neurona i.
- Una **regla de propagación** $h_i(t) = \sigma\left(w_{ij}\,, x_j(t)\right)$; $h_i(t) = \sum w_{ij}x_j$ es la más común.
- Una **función de activación** $y_i(t) = f_i\big(h_i(t)\big)$ que representa tanto la salida de la neurona como su estado de activación en un instante t.
- $f(\bullet)$: función de activación de la neurona, que corresponde a una función no lineal simple.
- θ_i: en algunos modelos es *threshold*, es decir, "umbral" de excitación llamado sesgo o bias.

En conclusión, el modelo de neurona o la salida y_i de una neurona que denominaremos estándar queda como:

$$y_i = f_i\left(\sum_j w_{ij}x_j - \theta_i\right) \qquad (1)$$

Figura 5
Modelo de neurona estándar



Nota: (Martin & Sanz 2002)

2.2.9.4. Funciones de activación o de Transferencia.

En su tesis, Jory (2007) menciona la importancia de la función de activación en redes neuronales, determinando el procesamiento y transmisión de datos entre capas, especialmente en la capa de salida. La relación $y = f(x)$ de funciones comunes se presenta en la **Tabla 1**, donde x representa el potencial postsináptico e y el estado de activación.

Tabla 1
Funciones de transferencia o activación en redes neuronales

Nombre	Relación entre entrada y salida	Repuesta	Función en Matlab®
Hard Limit Limitador Fuerte	$y = 0 \; si \; x < 0$ $y = 1 \; si \; x \geq 0$		hardlim
Limitador Fuerte simétrico	$y = -1 \; si \; x < 0$ $y = 1 \; si \; x \geq 0$		hardlims
Lineal	$y = x$		purelin
Lineal saturada	$y = -1 \; si \; x < -1$ $y = x \; si \; -1 \leq x \leq 1$ $y = 1 \; si \; x \geq 1$		satlin
Sigmoide logarítmica	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$		logsig
Sigmoide tangente hiperbólica	$y = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}}$		tansig
Competitiva	$y = 1$ *para neuronas con x máximo.* $y = 0$ *otros casos.*		compet

Nota: (Vorobioff et al., 2022)

2.2.9.5. Ventajas de las redes neuronales

Las redes neuronales se caracterizan por tener capacidades de procesamiento especiales que las hacen muy útiles en distintas áreas (Maren et al., 2014). Entre sus principales beneficios están la capacidad de aprendizaje adaptativo, que les permite mejorar su desempeño a partir de experiencias previas o entrenamiento; la autoorganización, donde la red puede estructurar y representar la información recibida durante su proceso de aprendizaje; la tolerancia a fallos, que permite que la red mantenga funcionalidad pese a daños parciales en su estructura; la posibilidad de operar en tiempo real gracias a la ejecución paralela en hardware específico; y la facilidad para integrarse con tecnologías ya existentes mediante chips diseñados para optimizar su rendimiento en tareas concretas.

2.2.9.6. Desventajas de las redes neuronales

Rivera (2005) señala algunas limitaciones de las Redes Neuronales Artificiales, entre ellas, la dificultad que presentan para aprender tareas complejas o de gran escala. Además, destaca que el tiempo requerido para el entrenamiento puede ser elevado, especialmente cuando se trabaja con un gran número de patrones o cuando es necesario diferenciar patrones muy similares. Otra desventaja importante es que estas redes no interpretan por sí mismas los resultados generados, requiriendo la intervención del usuario o desarrollador para darles significado. Finalmente, menciona que el tiempo de convergencia puede ser prolongado en aplicaciones que demandan un conjunto extenso de datos para el entrenamiento, lo que incrementa el tiempo de procesamiento.

2.2.9.7. Modelos y clasificación de redes neuronales artificiales.

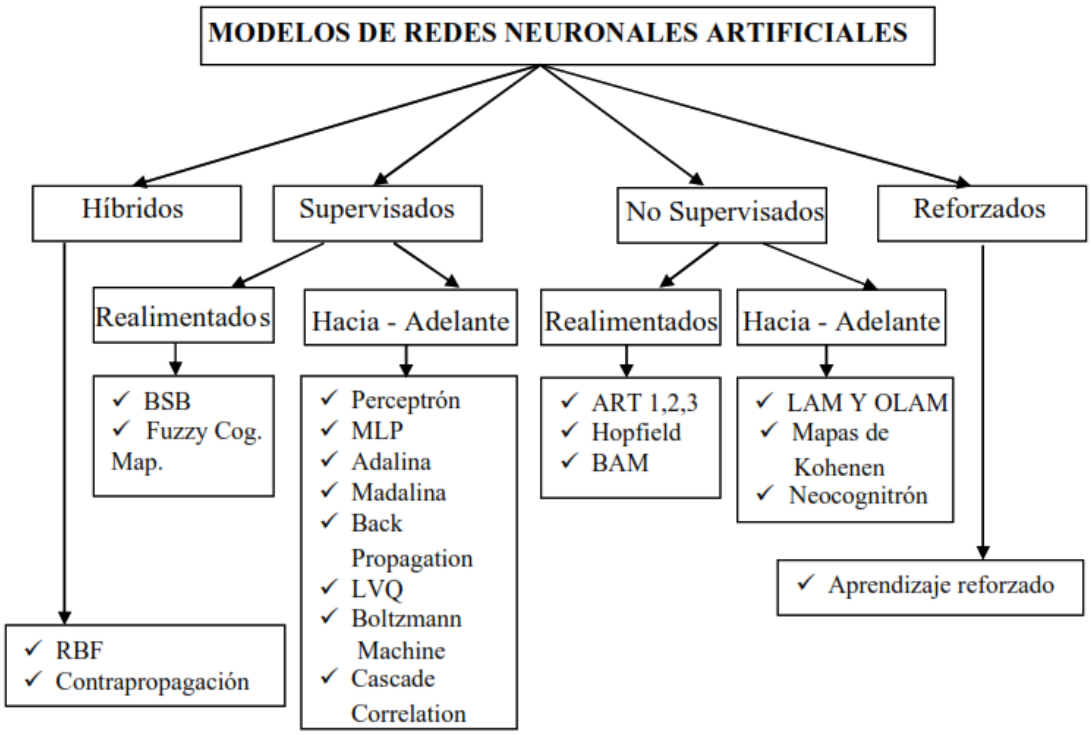
2.2.9.7.1. Modelos de redes neuronales artificiales

Martín del Brío & Serrano (1995) señalan que existe una amplia variedad de modelos de redes neuronales artificiales, entre los cuales aproximadamente cincuenta son conocidos y cerca de quince poseen una notable popularidad en la comunidad científica. Debido a esta diversidad, resulta fundamental organizar estos modelos mediante una clasificación que facilite su estudio y comprensión. En la

Figura 6, se propone una categorización que considera tanto el tipo de aprendizaje que puede ser supervisado, no supervisado, híbrido o reforzado como la estructura o topología de la red, diferenciando entre redes con conexiones hacia adelante y redes con retroalimentación. Los autores también recomiendan consultar la obra de

Wasserman (1989), que ofrece una explicación clara y accesible sobre estos conceptos y modelos.

Figura 6
Clasificación de los modelos de redes neuronales artificiales



Nota: (Martin & Sanz 2002)

2.2.9.7.2. Clasificación de las redes neuronales artificiales

Según Becerra (2014), la clasificación de las redes neuronales artificiales ofrece una visión clara de las variedades más utilizadas en los simuladores de software para sistemas de computación neuronal. La elección del tipo de red depende de las características y exigencias del problema a resolver. En general, sus aplicaciones abarcan predicción, clasificación, asociación, conceptualización, filtrado y optimización. Cabe resaltar que, en las tres primeras categorías (predicción, clasificación y asociación), resulta imprescindible aplicar un entrenamiento supervisado que permita alcanzar un desempeño adecuado y garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la modelación neuronal.

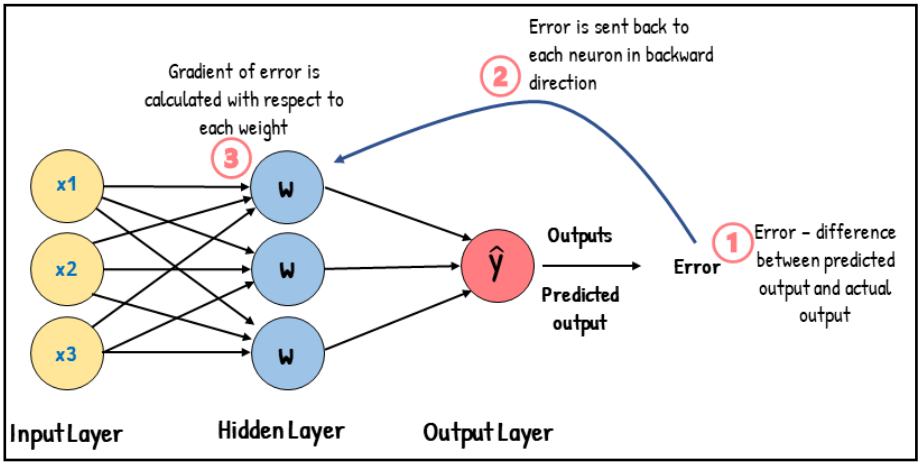
- **El perceptrón multicapa (MLP, MultiLayer Perceptrón)**

En su tesis, Montaño (2002) indica que Rumelhart et al. (1986) desarrollaron formalmente un procedimiento que permite a las redes perceptrón multicapa aprender la relación existente entre un conjunto de entradas y sus salidas asociadas. Este enfoque, conocido como retropropagación del error o descenso del gradiente, había sido anticipado en trabajos anteriores de Werbos (1974), Parker (1982) y Le Cun (1985). No obstante, fue el grupo Parallel Distributed Processing (PDP) liderado por Rumelhart quien logró dar mayor difusión y reconocimiento a esta metodología.

- **El algoritmo backpropagation (Regla delta generalizada)**

La regla delta generalizada, conocida como retropropagación (backpropagation), es un algoritmo esencial en redes neuronales y aprendizaje profundo. Desempeña un papel crucial en el entrenamiento de arquitecturas neuronales, especialmente en las de propagación directa, aplicadas en reconocimiento de voz e imágenes. Constituye una extensión de la regla del perceptrón y su objetivo principal es actualizar los pesos de la red neuronal para minimizar el error de salida mediante el descenso de gradiente (Rumelhart et al., 1986). El algoritmo calcula el gradiente de la función de pérdida respecto a cada peso y los ajusta en dirección opuesta, propagando el error desde la capa de salida hacia la de entrada. En la **Figura 7** se representa gráficamente el proceso de retropropagación (Backpropagation).

Figura 7
Backpropagation



Nota: (Kalirane, 2023)

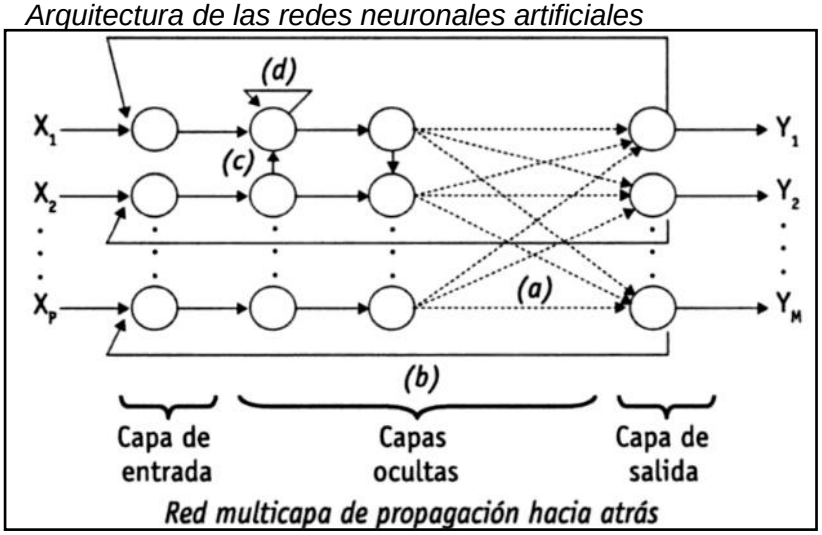
2.2.9.8. Arquitectura de las Redes Neuronales Artificiales.

La estructura de una Red Neuronal Artificial (RNA) se refiere a la disposición y organización de sus neuronas, las cuales se agrupan en capas de procesadores interconectados mediante enlaces unidireccionales. La configuración de una RNA está determinada por cuatro aspectos fundamentales: (1) el número de capas que conforman la red, (2) la cantidad de neuronas en cada capa, (3) el grado de interconexión entre dichas neuronas, y (4) el tipo de conexiones neuronales existentes. Además, la conectividad entre los nodos de la red influye en la manera en que las salidas de ciertos procesadores se transforman en entradas para otros, lo que define el flujo de información dentro del sistema (López & Fernández, 2008).

López & Fernández (2008) en la **Figura 8** ilustra una topología de red neuronal en la que se pueden identificar distintos tipos de conexiones: (a) conexiones hacia adelante, (b) conexiones hacia atrás, (c) conexiones laterales y (d) conexiones autorrecurrentes.

Figura 8

Arquitectura de las redes neuronales artificiales



Nota: (López & Fernández, 2008)

2.2.9.9. función de pérdida o función objetivo o función de costo

De acuerdo con Vannieuwenhuyze (2020), la función de pérdida o función de error, también conocida como “loss function”, sirve para medir la discrepancia entre las predicciones generadas por la red y los valores reales utilizados durante su entrenamiento.

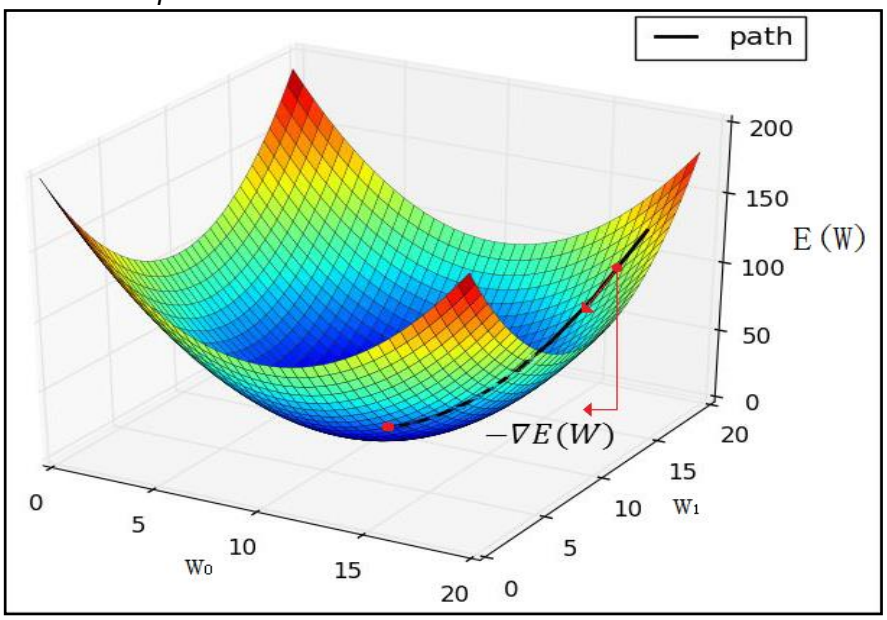
- **Extremo de la función de pérdida**

Propósito: La función de pérdida $E(W)$, definida en el espacio de peso, tiene como propósito encontrar el vector de peso W que minimice su valor, optimizando así el modelo para lograr el mejor desempeño según la métrica especificada (Hemingway, 2023).

Limitación: Hemingway (2023) señala que ningún método efectivo puede resolver de manera óptima el problema de extremos en matemáticas dentro de superficies complejas de alta dimensión asociadas a la extrema de la función de pérdida.

Figura 9

Función de pérdida



Nota: (Hemingway, 2023)

En esta investigación, se ponen de relieve los siguientes tipos de funciones de pérdida, aunque existen varios más: Error cuadrático medio (Mean Squared Error; MSE), Error absoluto medio (Mean Absolute Error; MAE), Error logarítmico cuadrático medio (Mean Squared Log Error; MSLE).

- **Error cuadrático medio (MSE)**

El error medio cuadrático (Mean Squared Error; MSE), se define como el promedio de la diferencia al cuadrado entre las predicciones realizadas y los valores observados reales. Este enfoque se centra exclusivamente en la magnitud promedio del error, sin

considerar su dirección (Data, 2019). Además, se reconoce como la función de coste más ampliamente utilizada en problemas de regresión (Morales Boada, 2018).

$$MSE = \frac{1}{n}.\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad (2)$$

n - número de muestras.

y_i - valor real o variable objetivo.

$\hat{y}_i$- valor predicho.

2.2.9.10. Metrics

Las métricas poseen ciertas similitudes con las funciones de coste o de pérdida; sin embargo, en algunos casos, una métrica puede no existir como función de coste. Aunque con frecuencia la métrica utilizada coincide con la función de coste, no siempre ocurre así (Lorenzo, 2023). Dentro de las métricas disponibles, se pueden identificar diversos tipos, tales como:

- **Accuracy Metrics (De precisión)**
  - ❖ Accuracy
  - ❖ Binary Accuracy
  - ❖ Categorical Accuracy
  - ❖ Sparse Categorical Accuracy
  - ❖ Top-K Categorical Accuracy
  - ❖ Sparse Top-K Categorical Accuracy
- **Probabilistic metrics (De Probabilidad)**
  - ❖ Binary Crossentropy
  - ❖ Categorical Crossentropy
  - ❖ Sparse Categorical Crossentropy
  - ❖ KLDivergence
  - ❖ Poisson
- **Regression metrics (De regresión)**
  - ❖ Mean Squared Error (MSE)
  - ❖ Root Mean Squared Error (RMSE)
  - ❖ Mean Absolute Error (MAE)
  - ❖ Coeficiente de correlación (R)
  - ❖ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)
  - ❖ Coeficiente de determinación (R^2)
  - ❖ Mean Squared Logarithmic Error (MSLE)
  - ❖ Cosine Similarity (Distancia del coseno)
  - ❖ Log Cosh Error
  - ❖ Error de porcentaje cuadrático medio (MSPE)

Cada métrica es seleccionada de acuerdo con el contexto del problema y los resultados que se deseen optimizar.

2.2.9.11. Modelo predictivo

Un modelo predictivo es una representación matemática o computacional utilizada para predecir valores futuros o desconocidos a partir de datos históricos y patrones identificables. En inteligencia artificial y aprendizaje automático, estos modelos aplican técnicas estadísticas y algoritmos avanzados para establecer relaciones entre variables de entrada y salida. La integración de IA, mediante machine learning y deep learning, ha mejorado su capacidad de aprendizaje y adaptación, permitiendo avances en áreas como detección de fraudes, conducción autónoma y diagnóstico médico (Bridge, 2025). Para determinar el rendimiento de los modelos de RNA se definirán los siguientes parámetros según (Das et al., 2015), (Kabir & Hasan, 2013), (Lorenzo, 2023), (Data, 2019) y (Urbanowicz & Moore, 2015) tal como se muestra en la sección **2.2.11.2.6**:

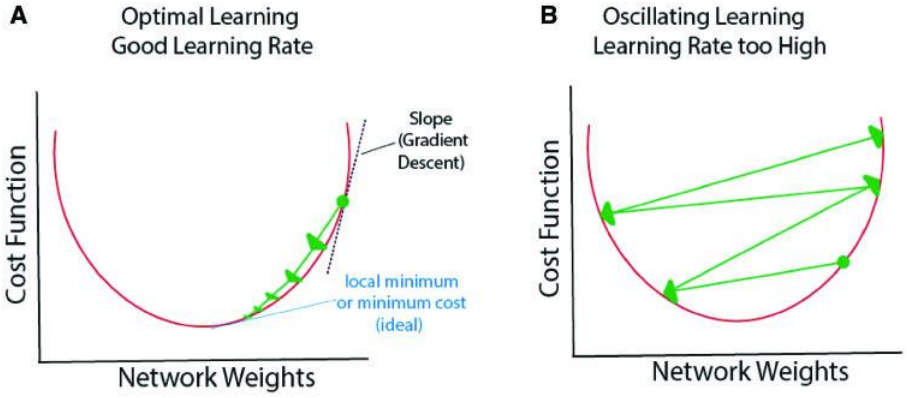
- ✓ Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE)
- ✓ Error absoluto medio (MAE)
- ✓ Coeficiente de correlación (R)
- ✓ Coeficiente de determinación (R^2)
- ✓ Accuracy (Exactitud)
- ✓ Algoritmo de optimización

- **Learning rate (ratio de aprendizaje)**

Según Krittanawong et al. (2019), la **tasa de aprendizaje** es un concepto importante que determina cómo la red ajusta los pesos durante el entrenamiento en función de decisiones correctas o incorrectas. La **Figura *10*** muestra tasas de aprendizaje apropiadas en una red bien capacitada y cómo tasas de aprendizaje inapropiadas (demasiado altas) pueden impedir la capacitación de la red.

Figura 10

Efecto de la tasa de aprendizaje.



Nota: (Krittanawong et al., 2019)

Según Gómez et al. (2020), el aprendizaje en redes neuronales consiste fundamentalmente en reducir la función de pérdida mediante la actualización continua de los parámetros , ω de la red, transformando así el entrenamiento en un problema de optimización.

La red neuronal cuenta con diversos hiperparámetros, como la tasa de aprendizaje "α". Este parámetro permite que los algoritmos de descenso de gradiente determinen el siguiente punto, así:

$$\omega_{j+1} = \omega_j - \alpha \frac{\partial f(\omega_j)}{\partial \omega_j} \quad (3)$$

donde ω_j es uno de los parámetros, f la función de pérdida y α la tasa de aprendizaje.

- **Optimizadores**

Los optimizadores son técnicas o algoritmos que se emplean para modificar y ajustar los parámetros de una red neuronal durante su entrenamiento, con el objetivo principal de reducir al mínimo la función de pérdida. Como son *Stochastic Gradient Descent* (SGD), *Adaptive Gradient Algorithm* (ADAGRAD), *Adadelta, Root Mean Square Propagation* (RMSprop), *Adaptive Moment Estimation* (ADAM), entre otros. En el entorno de MATLAB, estos algoritmos se representan mediante funciones específicas dentro de la herramienta *Deep Learning Toolbox*, tales como trainlm (Levenberg-Marquardt), trainscg (Scaled Conjugate Gradient), trainrp (Resilient Backpropagation), trainbr (Bayesian Regularization), trainbfg (BFGS Quasi-Newton), así como adam y sgdm en redes profundas mediante trainingOptions (MathWorks, 2025). Estos optimizadores permiten ajustar el aprendizaje de la red según el tipo de problema, tamaño del conjunto de datos y complejidad de la arquitectura neuronal, contribuyendo así a una mayor precisión y estabilidad del modelo durante el entrenamiento.

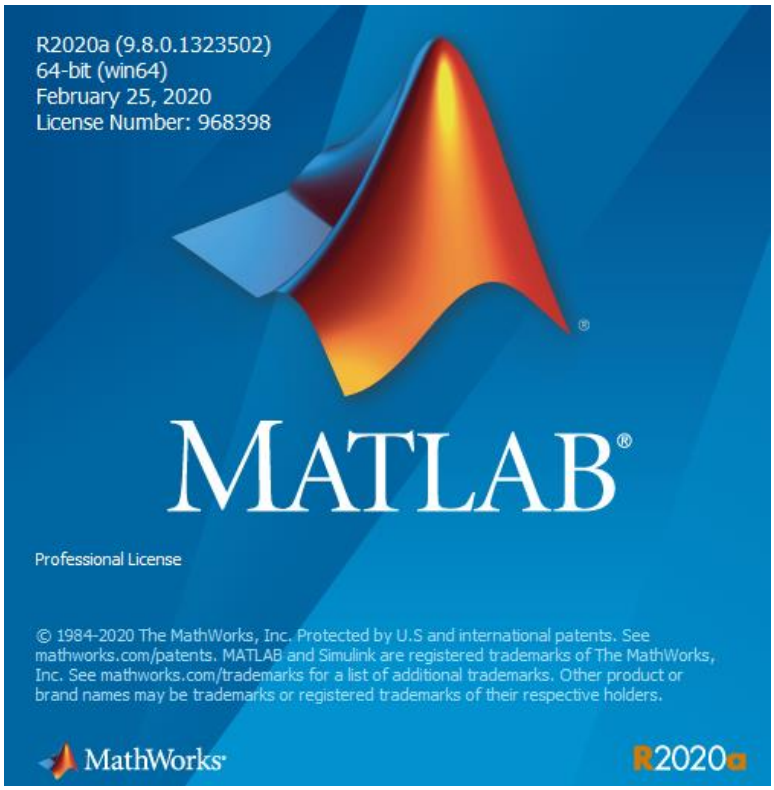
2.2.10. Herramienta de aplicación

2.2.10.1. Lenguaje Matlab

MATLAB se destaca como una plataforma de programación y cálculo numérico ampliamente empleada por innumerables ingenieros y científicos para analizar datos, elaborar algoritmos y construir modelos (Mathworks, 2023).

Figura 11

MATLAB – Herramienta de Aplicación



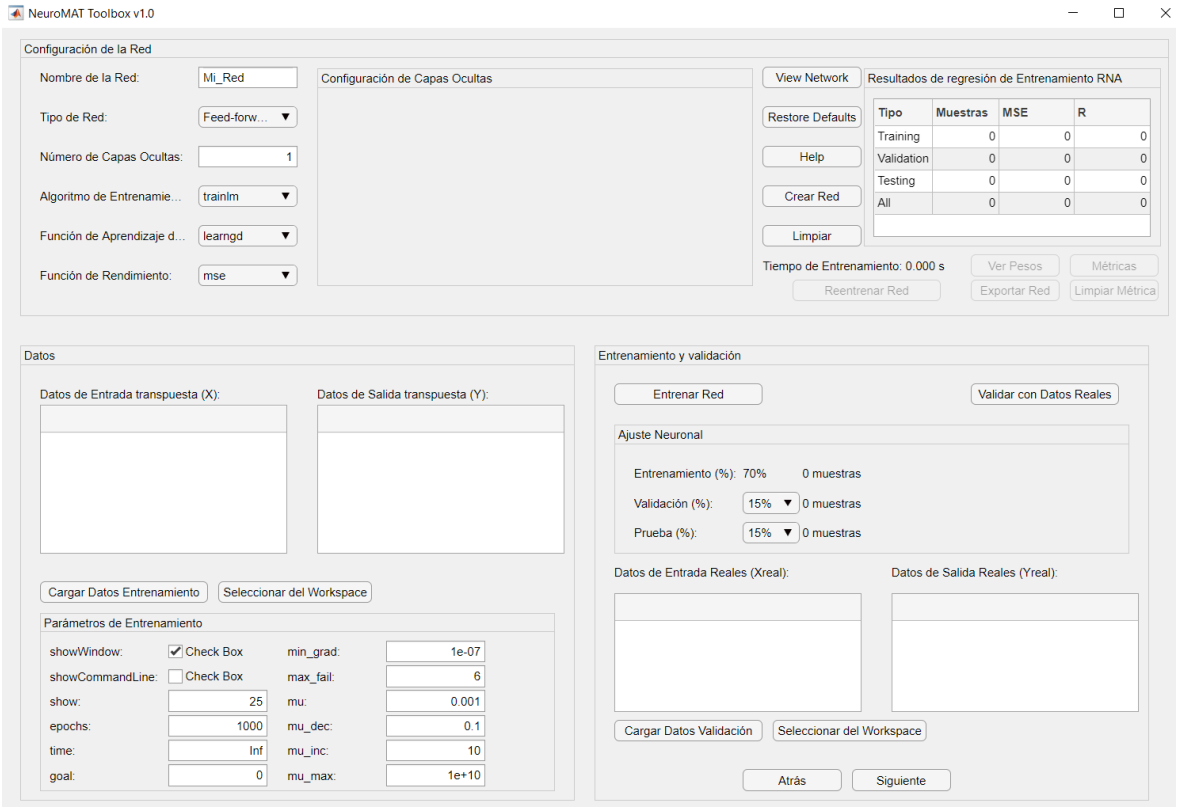
Nota: Programa de Matlab R2020a

2.2.10.2.Redes Neuronales en Matlab R2020a (NeuroMAT Toolbox v1.0).

En este trabajo se ha desarrollado una interfaz gráfica de usuario (GUI) denominada NeuroMAT Toolbox v1.0, diseñada para la implementación y configuración de Redes Neuronales Artificiales en MATLAB. Este programa facilita la creación, entrenamiento y evaluación de modelos sin necesidad de codificación manual extensa. Su diseño permite una interacción intuitiva con los parámetros de la red, optimizando el proceso de experimentación y análisis. La interfaz gráfica de la herramienta desarrollada se presenta en el **Capítulo III**, subsección **3.9.2** denominada Modelado predictivo mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA), donde se ilustra su funcionamiento a través de la **Figura 12**. Asimismo, el manual de usuario del **NeuroMAT Toolbox v1.0** se encuentra ubicado en el **Anexo G**, apartado **G. 4. Guía de uso del programa NeuroMAT Toolbox** v1.0, el cual detalla el proceso de instalación, configuración y operación de la herramienta. De manera complementaria, el uso práctico del programa se describe también en la misma subsección **3.9.2** del **Capítulo III**, proporcionando una explicación integral del flujo de trabajo implementado mediante la interfaz gráfica.

Figura 12

Interfaz gráfica de redes neuronales (NeuroMAT Toolbox v1.0)



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Pasos o flujo esenciales para diseñar redes neuronales

El proceso de construcción de una red neuronal es única para cada aplicación, aunque típicamente involucra los siguientes pasos (MathWorks, 2023):

1. Acceder a los datos y prepararlos
2. Crear la red neuronal
3. Configurar las entradas y salidas de la red
4. Ajustar los parámetros de la red (las ponderaciones y tendencias) para optimizar el rendimiento
5. Entrenar la red
6. Validar los resultados de la red
7. Integrar la red en un sistema de producción

2.2.11. Sistema de predicción

En esta sección se describe la estructura y los parámetros de la red neuronal diseñada para estimar la cantidad individual de los componentes del concreto, incluyendo

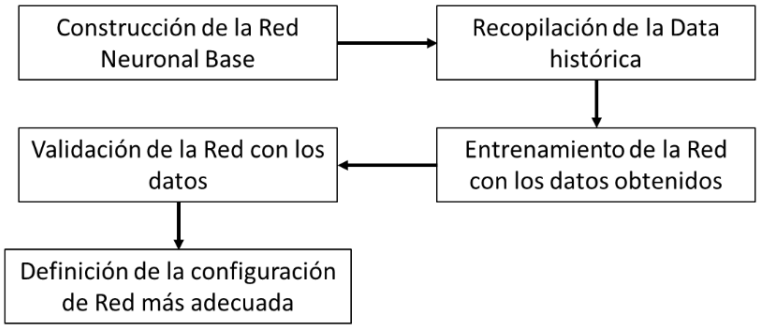
cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. Se especifica la arquitectura seleccionada y se justifica la elección del tipo de red más apropiado para lograr predicciones precisas.

2.2.11.1.Flujo de procesos

La Figura 13**,** muestra basada en la tesis de Díaz (2017), ilustra las etapas clave en la creación del sistema de predicción. En este capítulo se explica el primer paso, mientras que la implementación completa se abordará en el siguiente capítulo.

Figura 13

Flujo de predicción de la dosificación del concreto



Nota: Adaptado de la tesis de (Díaz, 2017)

2.2.11.2. Diseño de la red neuronal base

En esta fase se establecen las variables de entrada y salida que la red neuronal utilizará para realizar las predicciones. La estructura de la red se configura a través de un proceso iterativo, donde se ajustan tanto el número de capas ocultas como la cantidad de neuronas en cada una. Este procedimiento tiene como objetivo encontrar la configuración óptima que maximice la exactitud del modelo predictivo.

2.2.11.2.1. Definición de las variables de entrada

En la etapa de definición de las variables de entrada, se identificarán y especificarán las variables relevantes que influirán en el proceso de pronóstico. Este paso es crucial para garantizar que la red neuronal base capture de manera efectiva las relaciones entre las entradas y las salidas, proporcionando una representación precisa del sistema que se está modelando.

A continuación, se presentan las variables seleccionadas, las cuales desempeñan un papel clave en el diseño de la mezcla de concreto:

- **Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso (NTP 400.037, ASTM C33)**
  El Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso se define conforme a la norma NTP 400.037 (2021) y la especificación ASTM C33. Rivva (2007) señala que el tamaño máximo (TM) corresponde a la abertura del tamiz más pequeña que permite el paso mayoritario del material. Por su parte, el TMN se establece como el tamiz más pequeño en la serie que retiene entre el 5 % y el 10 % del agregado. Además, cuando menos del 95 % del material pasa a través del tamiz, el TMN se considera equivalente al Tamaño Máximo Absoluto, según lo indicado por Rivva (2007).

- **Ensayos de Granulometría (NTP 400.012, ASTM C136)**
  El procedimiento para analizar la distribución del tamaño de las partículas en agregados finos y gruesos se lleva a cabo mediante un ensayo de tamizado, utilizando una muestra de agregado seco con una masa previamente determinada (NTP 400.012, 2021). Para realizar el análisis granulométrico de los agregados, se aplica lo dispuesto en la norma técnica peruana NTP 400.012:2021, complementado por los lineamientos establecidos en la normativa internacional ASTM C136/C136M:2019. Ambas normas ofrecen los procedimientos necesarios para garantizar una evaluación precisa de la distribución de tamaños de las partículas.
  Para el desarrollo del ensayo, se deben seguir los siguientes pasos según (NTP 400.012, 2021):
  - **Selección de la muestra**: El tamaño de la muestra del agregado se elige de acuerdo con la NTP 400.010 o cuatro veces la cantidad requerida en los subcapítulos 6.4 y 6.5 de la norma NTP 400.012:2021. Posteriormente, la muestra se seca en una estufa a una temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, lo que generalmente toma 24 horas.
  - **Tamizado:** La muestra seca se coloca en la malla superior del juego de tamices, organizados en orden decreciente según el tamaño de abertura. El proceso de tamizado se lleva a cabo mediante agitación manual o con un

aparato mecánico durante un tiempo suficiente para garantizar la separación adecuada de las partículas.

- **Criterio de finalización**: La operación de tamizado se considera completa si, durante un minuto, no pasa más del 1% en peso del material retenido sobre el tamiz.
- **Módulo de finura (MF):** Es un índice que describe la distribución del tamaño promedio ponderado de las partículas en una muestra de agregado (grosor predominante en una muestra de agregado). Se calcula mediante (4):
-

$$MF = \frac{\sum \%Ret.Acumulado\ (No.100 + No.50 + No.30 + No.16 + No.8 + No.4 + 3/8" + 3/4" + 1\,1/2" + 3" + 6")}{100} \quad (4)$$

- **Requisitos según la Norma ASTM:** La normativa ASTM C33 establece que el módulo de finura del agregado fino debe encontrarse en el rango de 2.3 a 3.1. Según Abanto (2009), las arenas con módulos comprendidos entre 2.2 y 2.8 son adecuadas para la producción de concretos con buena trabajabilidad y menor segregación. Por otro lado, aquellas con módulos entre 2.8 y 3.1 son especialmente recomendadas para concretos destinados a alcanzar altas resistencias mecánicas.

- **Ensayos de pesos unitarios (NTP 400.017, ASTM C29/C29M-17a)**

  En el contexto normativo peruano, se establece un procedimiento específico para determinar la masa por unidad de volumen de los agregados (también conocida como densidad o peso unitario), tanto en condición suelta como compactada. Esta medición, también conocida como peso unitario o densidad del agregado, sirve además para estimar el volumen de vacíos entre partículas, ya sea en agregados finos, gruesos o combinaciones de ambos. Dicho método es aplicable cuando el tamaño máximo nominal del material no supera los 125 mm (NTP 400.017, 2020). La ejecución de esta prueba debe regirse por lo estipulado en las normas técnicas NTP 400.017:2020 y ASTM C29/C29M-17a.

  - Para llevar a cabo el ensayo, se requiere el siguiente equipo: una balanza con exactitud dentro de 0.05 kg o dentro del 0.1 % de la carga de ensayo, una varilla de apisonado acero liso redondeada con 16 mm ± 2 mm de diámetro y una longitud debe ser de al menos 10 cm mayor que la profundidad de la medida o

el molde en el que se utiliza la varilla, pero no mayor a 75 cm, y un recipiente cilíndrico de metal o metal para más detalle ver la norma NTP 400.017:2020.

La determinación del volumen del recipiente se llevará a cabo al determinar la masa de agua, placa de vidrio y recipiente con exactitud de 0.05 kg requerido para llenarlo a una temperatura ambiente. El factor (F) se calculará dividiendo la densidad (D) del agua a temperatura medida y determinada de la **Tabla 3** de la norma NTP 400.017 entre la masa del agua requerido para llenar el recipiente [Ma].

$$F = \frac{D\ (a\ Temperatura\ medida\ )\ \left({}^{kg}/_{m^3}\right)}{(W - M)(kg)} \quad (5)$$

Donde según NTP 400.017 (2020):

W: masa del agua, placa de vidrio, y recipiente, expresada en kg.

M: masa de la placa de vidrio y recipiente vacío, en kg.

D: densidad del agua para la temperatura medida, en kg/m³.

F: factor de corrección, en m^{-3}.

- Método para **densidad aparente compactada o peso unitario compactado** (Método A – Apisonado): Se utiliza cuando se desea calcular la densidad aparente compactada de un agregado. El procedimiento consiste en llenar el recipiente en tres capas iguales, y cada capa se compacta aplicando 25 golpes con una varilla metálica, siguiendo las recomendaciones de la norma.
- Método para **densidad aparente suelta** o **peso unitario suelto** (Método C – Palear): Este método se aplica para determinar la densidad aparente en estado suelto. El agregado se introduce con una pala en el recipiente hasta sobrepasar ligeramente el borde, dejando caer el material desde una altura máxima de 5 cm. Luego, se nivela sin ejercer compactación. Los procedimientos está basado en lo establecido por (NTP 400.017, 2020).
- Los resultados se expresan mediante la siguiente fórmula.

$$M = P.U = (G - T)xF \quad (6)$$

Donde:

$M = P.U$: peso unitario o densidad en masa del agregado (kg/m³).

G: masa del agregado más recipiente (kg).

T: masa del recipiente vacío (kg).

F: factor de corrección, (m^{-3}).

- **Ensayos de pesos específicos y absorción (NTP 400.022, ASTM C128-15 y NTP 400.021, ASTM C127:2015)**

  Para calcular los **pesos específicos y absorción del agregado fino** se procede de acuerdo al establecido en la NTP 400.022:2021, ASTM C128:2015.

  - El equipo requerido comprende: una balanza que tiene una capacidad de 1 kg o más con sensibilidad de 0.1 g, un frasco volumétrico de 500 cm^3 de capacidad, un molde cónico con dimensiones de diámetro menor 4 cm, diámetro mayor 9 cm y altura 7.5 cm, una barra compactadora de 25 mm de diámetro y 340 g de peso, y una estufa con temperatura ajustada de 110°C± 5°C.
  - Mediante el método de cuarteo de la norma NTP 400.043:2021, se obtiene una muestra de aproximadamente 1 kg de agregado fino, la cual se somete a un proceso de secado en una estufa a una temperatura de 110°C± 5°C durante un período de 24 horas.
  - A continuación, la muestra se satura con agua y se le deja reposar durante un periodo de 24 horas.
  - Luego de transcurrido el tiempo de saturación, el material se distribuyó sobre una superficie plana impermeable, la cual fue expuesta a una corriente continua de aire caliente con la finalidad de facilitar un secado uniforme en toda la muestra (NTP 400.022, 2021).
  - Se realiza la prueba de humedad superficial: la muestra se coloca en el molde cónico. Ligeramente apisonar en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Luego, Posteriormente, el molde se retira de manera vertical, verificándose que el cono formado por el agregado colapsa parcialmente. Este comportamiento confirma que el material ha alcanzado la condición de saturación con superficie seca (SSS).
  - Llenar parcialmente el picnómetro con agua limpia. Luego, introducir dentro del picnómetro aproximadamente 500 g ± 10 g de agregado fino en condición saturada superficialmente seca (SSS) y agregar agua adicional hasta cubrir cerca del 90 % de la capacidad total del picnómetro (500 cm^3).
  - Se agita el picnómetro para eliminar vacíos (15 min a 20 min).
  - La mezcla permanece en reposo durante un periodo cercano a una hora, sumergida en un baño termorregulado que mantiene una temperatura

constante de 23 °C ± 2 °C, con el fin de estabilizar térmicamente la muestra antes de continuar con el ensayo

- Se procede a terminar de llenar en la marca de 500 cm³. Luego, se pesa el picnómetro con la muestra, se extrae el agua y el agregado fino, para finalmente secar la muestra a temperatura constante de 110 °C ± 5 °C durante 24 horas, y posteriormente se pesa en estado seco.
- Los resultados finales se determinan según la norma (NTP 400.022, 2021):

$$Pem = Densidad\ relativa\ (Gravedad\ específica)(OD) = A/(B + S - C) \quad (7)$$

$$PeSSS = Densidad\ relativa\ (Gravedad\ específica)(SSD) = S/(B + S - C) \quad (8)$$

$$Pea = Densidad\ relativa\ aparente\ (Gravedad\ específica\ aparente) = A/(B + A - C) \quad (9)$$

$$Abs\ (\%) = Absorción(\%) = 100[((S - A))\ /\ A] \quad (10)$$

Donde:

Pem = Peso específico de masa (g/cm³)

$PeSSS$ = Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm³)

Pea = Peso específico aparente (g/cm³)

$Abs\ (\%)$ = Absorción del agregado fino

A = masa de la muestra secada al horno, en gramos (g)

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, en gramos (g)

C = masa del picnómetro con la muestra y el agua llenados hasta la marca de calibración, en gramos (g)

S = masa de la muestra en estado saturado superficialmente seca, en gramos (g) (NTP 400.022, 2021).

Para obtener los **pesos específicos y la absorción del agregado grueso**, se sigue el procedimiento establecido en la norma NTP 400.021, ASTM C127:2015.

- Se requiere el siguiente equipo para llevar a cabo el ensayo: una balanza con una sensibilidad de 0.5 g, capacidad de 5 kg ó más y una precisión de 0.05 % de la carga de muestra, una cesta de malla de alambre, un depósito para sumergir la cesta, tamiz No.04 y una estufa con una temperatura de 110°C ± 5°C.

- Mediante el método de cuarteo de la norma NTP 400.043:2021, se obtiene una muestra de aproximadamente 2 kg de agregado grueso, se descarta todo el material que pase a través del tamiz número 4 (4,75 mm) mediante tamizado en seco. Posteriormente, se procede a lavar el material para eliminar polvo y otras impurezas superficiales. Después de este proceso, el material se seca en una estufa manteniendo una temperatura constante de 110°C ± 5°C durante un periodo aproximado de 24 horas. Finalmente, se retira y se deja enfriar a temperatura ambiente por un lapso de entre 1 a 3 horas antes de su posterior manipulación.
- La muestra se satura completamente en agua durante un periodo de 24 horas ± 4 horas. Luego, se retira y se hace rodar cuidadosamente sobre un paño absorbente hasta alcanzar el estado de saturación con superficie seca. Finalmente, se registra la masa de la muestra en condiciones de aire.
- La muestra, en estado saturado con superficie seca, se coloca en una cesta de alambre y determinar su masa aparente en agua a 23 °C ± 2,0 °C. Posteriormente, la muestra se seca a peso constante en una estufa a 110 °C± 5 °C durante 24 h, enfriar a temperatura ambiente de 1 h a 3 h y se registrar su masa.
- Los resultados finales se determinan los pesos específicos y la absorción según la norma (NTP 400.021, 2020):

$$Pem = Densidad\ relativa\ (Gravedad\ específica)(OD) = A/(B - C) \quad (11)$$

$$PeSSS = Densidad\ relativa\ (Gravedad\ específica)(SSD) = B/(B - C) \quad (12)$$

$$Pea = Densidad\ relativa\ aparente\ (Gravedad\ específica\ aparente) = A/(A - C) \quad (13)$$

$$Abs\ (\%) = Absorción, \% = 100[(B - A)\ /\ A] \quad (14)$$

Donde:

Pem = Peso específico de masa (g/cm^3)

$PeSSS$ = Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm^3)

Pea = Peso específico aparente (g/cm^3)

$Abs\ (\%)$ = Absorción del agregado fino

A = masa de la muestra después de haber sido secada al horno y luego enfriada al aire, expresada en gramos (g).

B = masa de la muestra en estado saturado superficialmente, pero seca al aire, también en gramos (g).

C = masa aparente de la muestra cuando está completamente saturada en agua, medida en gramos (g) (NTP 400.021, 2020).

- **Peso específico del cemento**

  El peso específico del cemento se refiere a la masa por unidad de volumen del cemento y se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

- **Ensayos de contenido de humedad (NTP 339.185, ASTM C29/C29M-17a)**

  El ensayo para determinar con precisión el contenido de humedad del agregado fino y grueso se realiza siguiendo estrictamente las normas técnicas establecidas NTP 339.185:2021 y ASTM C 566-19.

  - Se requiere el siguiente equipo para llevar a cabo el ensayo: una balanza, fuente de calor (estufa), recipiente para la muestra.
  - Se coloca la muestra en un recipiente de masa conocida, se registra la masa (recipiente más muestra), luego se coloca en la estufa a 110 °C± 5 °C hasta obtener una masa constante y enfriarlo, para después medir la masa de la muestra seca.
  - Finalmente según la norma NTP 339.185 (2021), se determina el porcentaje de humedad de los agregados mediante la siguiente fórmula.

$$P\ (\%\ Humedad) = 100\ (W - D)\ /\ D \qquad (15)$$

  Donde:

  P = contenido total de humedad evaporable de la muestra (g)

  W = masa de la muestra húmeda original (g)

  D = masa de la muestra seca (g) NTP 339.185 (2021).

- **Relación agua - cemento de Diseño (a/c D)**

  La relación agua/cemento (a/c) es fundamental en el concreto, pues influye en su resistencia, durabilidad y propiedades como la retracción y fluencia. Además, determina la estructura interna de la pasta de cemento durante el endurecimiento (Rivva, 2007). Esta relación indica la proporción de agua respecto al cemento sin incluir la humedad de los agregados.

- **Edad de ensayo**

  La edad de ensayo corresponde al período, expresado en días, durante el cual se efectúan pruebas de resistencia en probetas de concreto, siendo usual realizarse a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación. Estos intervalos son

estándar para evaluar la resistencia del concreto según la normativa técnica peruana (NTP 339.034, 2021).

- **Slump (NTP 339.035, ASTM C39/C39M-21)**

  La prueba para medir el asentamiento del concreto elaborado con cemento hidráulico se realiza conforme a las normas NTP 339.035:2022 y C39/C39M-21. Este procedimiento implica verter una porción de concreto fresco en un molde con forma de cono truncado, que luego se compacta mediante varillado. Posteriormente, se retira el molde verticalmente, permitiendo que el concreto se hunda, y se mide el asentamiento calculando la diferencia entre la altura original del molde y la altura del centro hundido en la superficie del concreto deformado (NTP 339.035, 2022).

- **Resistencia de diseño (f'_c)**

  La resistencia a la compresión requerida en obra corresponde a la capacidad mínima de carga que debe soportar el concreto, expresada en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), para garantizar la seguridad y durabilidad de la estructura.

- **Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos (f_c)**

  La resistencia a la compresión del concreto es su capacidad para soportar cargas axiales hasta la fractura. Según la norma NTP 339.034 (2021), se mide con probetas cilíndricas de 150 mm por 300 mm, aplicando carga hasta romperlas. La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal.

2.2.11.2.2. Identificación de las variables de salida del modelo

El propósito general del modelo es pronosticar la dosificación más adecuada de los materiales constituyentes del concreto, con el fin de alcanzar la resistencia a la compresión deseada, la cual se evalúa posteriormente en el laboratorio. Este objetivo involucra la predicción de cuatro variables de salida en el problema de modelado.

- **Cantidad de cemento**

  Se refiere a la cantidad total de cemento, expresada en kilogramos (kg), requerida para producir una colada de 1 m³ de concreto. Esta magnitud se conoce como dosificación de cemento por metro cúbico de mezcla.

- **Cantidad de agua**

Corresponde al volumen total de agua, medido en litros, necesario para preparar una mezcla de 1 m³ de concreto, considerando el contenido de humedad presente en los agregados al momento del diseño.

- **Cantidad de agregado fino**

  Corresponde a la masa total de agregado fino expresada en kilogramos (Kg), requerida para conformar 1 m³ de mezcla de concreto, considerando su aplicación directa en el lugar de ejecución del proyecto.

- **Cantidad de agregado grueso**

  Hace referencia a la proporción específica de agregado grueso, en kilogramos (Kg), necesaria para producir 1 m³ de concreto en condiciones reales de obra o sitio de construcción.

La **Tabla 2** resume las variables de entrada y salida elegidas para predecir el contenido unitario de los elementos del concreto, como cemento, agua y agregados fino y grueso.

Tabla 2

Datos de entrada y valores de salida del sistema modelado

VARIABLE		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TIPO
Variables de Entrada	TMN	Tamaño Máximo Nominal	pulgadas	Numérico
	$mf\ AF$	Módulo de Finura del Agregado Fino	-	Numérico
	$mf\ AG$	Módulo de Finura del Agregado Grueso	-	Numérico
	$Pus\ AF$	Peso Unitario Suelto del Agregado Fino	Kg/m³	Numérico
	$Pus\ AG$	Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso	Kg/m³	Numérico
	$Pusc\ AF$	Peso Unitario Compactado del Agregado Fino	Kg/m³	Numérico
	$Pusc\ AG$	Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso	Kg/m³	Numérico
	Pec	Peso Específico del Cemento	-	Numérico
	$Pem\ AF$	Peso Específico de masa del Agregado Fino	-	Numérico
	$Pem\ Ag$	Peso Específico de masa del Agregado Grueso	-	Numérico
	$Abs\ AF$	Absorción del Agregado Fino	%	Numérico
	$Abs\ AG$	Absorción del Agregado Grueso	%	Numérico
	$Ch\ AF$	Contenido de Humedad del Agregado Fino	%	Numérico
	$Ch\ AG$	Contenido de Humedad del Agregado Grueso	%	Numérico
	$a/c\ D$	Relación Agua - Cemento de Diseño	-	Numérico
	E	Edad de Ensayo	días	Numérico
	$f'c$	Resistencia de Diseño	Kg/cm²	Numérico
	fc	Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos	Kg/cm²	Numérico
Variables de Salida	C	Cantidad de Cemento	Kg	Numérico
	AF	Cantidad de Agregado Fino	Kg	Numérico
	AG	Cantidad de Agregado Grueso	Kg	Numérico
	A	Cantidad de Agua	litros	Numérico

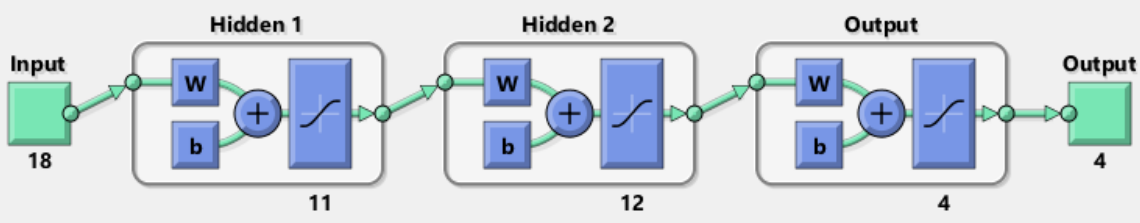
Nota: Elaboración propia

2.2.11.2.3. Topología o arquitectura de la red

Se utilizó una arquitectura MLP (Multilayer Perceptron), desarrollada en MATLAB (**Figura 14**), compuesta por una capa de entrada con 18 neuronas, dos capas ocultas y una de salida con 4 neuronas (cemento, agregado fino, agregado grueso y agua). El número óptimo de neuronas ocultas se determinó mediante prueba y error (**Tabla 22**). La red más eficiente fue “Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18”, con arquitectura 18-11-12-4, destacando por sus métricas de desempeño, especialmente por su bajo error cuadrático medio.

Figura 14

Esquema del diseño de la red neuronal – MATLAB



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La arquitectura de la red neuronal diseñada para este estudio se caracteriza por los siguientes aspectos fundamentales:

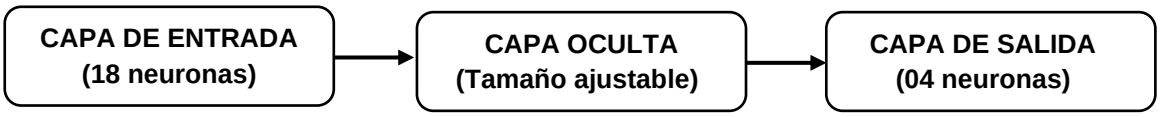
- Se utilizó un perceptrón multicapa (MLP) de **tipo feedforward**, donde las señales se propagan únicamente en una dirección, sin conexiones recurrentes.
- Capa de entrada: compuesta por 18 neuronas, correspondientes al número de variables de entrada seleccionadas, según lo indicado en la sección **2.2.11.2.1**.
- Capas ocultas: se utilizaron dos capas ocultas, determinadas mediante un proceso iterativo de prueba y error para optimizar el rendimiento del modelo.
- El número de neuronas ocultas se definió mediante pruebas iterativas, optimizando el rendimiento del modelo en base a los resultados obtenidos durante el entrenamiento. La configuración final se detalla en el capítulo de resultados.
- Neurona en la capa de salida: Cuatro neuronas conforman esta capa, asignadas conforme a las variables de salida indicadas en la sección **2.2.11.2.2**.
- Para el entrenamiento y validación de la red neuronal artificial, se utilizó el **algoritmo Levenberg-Marquardt (trainlm)**, basado en el método de retropropagación del error (backpropagation). Esta técnica permitió ajustar los pesos sinápticos minimizando la

función de error, logrando una convergencia rápida y una alta precisión en la predicción de las proporciones de mezcla de concreto.

- La **Figura 14** muestra el modelo de perceptrón multicapa (MLP) utilizado para estimar los parámetros indicados en la **Tabla 2**, incluyendo las variables predictoras (*TMN, mf AF, mf AG, Pus AF, Pus AG, Pusc AF, Pusc AG, Pec, Pem AF, Pem AG, Abs AF, Abs AG, Ch AF, Ch AG, a/c D, E, f'c, fc*), la cantidad de capas ocultas, la distribución de neuronas en cada una y la capa de salida, representada por el vector Y=[Y_1,Y_2,Y_3,Y_4]. Esta salida corresponde a la estimación de las cantidades de cemento (C), agua (A), agregado fino (AF) y agregado grueso (AG), las cuales fueron calculadas a partir del procesamiento de las variables de entrada a través de la arquitectura definida de la red.

Figura 15

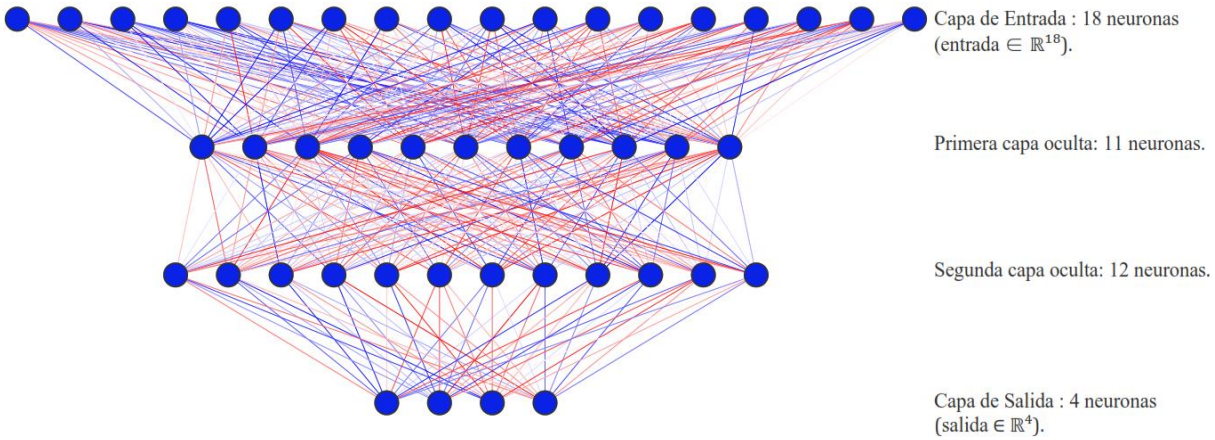
Estructura RNA utilizada en esta investigación



Nota: Elaboración propia

Figura 16

Arquitectura óptima de la RNA



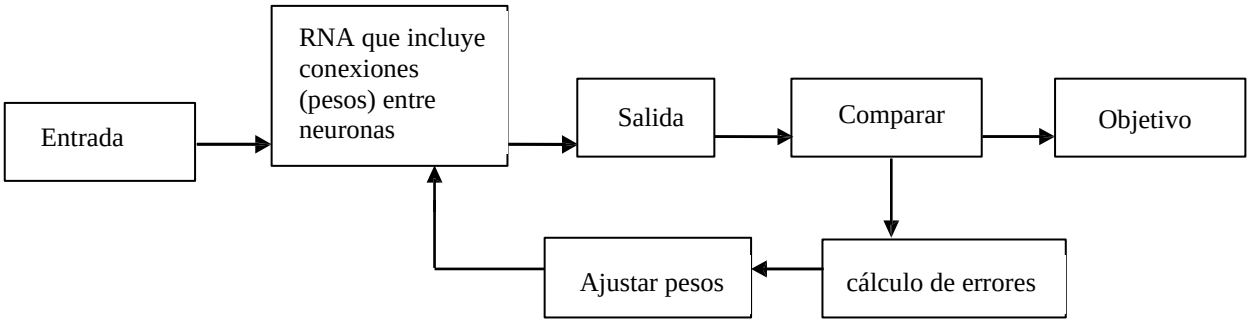
Nota: Elaboración propia

2.2.11.2.4. Fase de entrenamiento

Durante el proceso de entrenamiento, los datos se pasan a la capa de entrada y luego pasan de una capa a otra manteniendo el sistema de paso hacia adelante. En este sistema, cada neurona en la capa oculta recibe información de las neuronas de la capa de entrada que ya se están multiplicando por el peso adyacente y luego sumando, en algunos casos se modifica agregando sesgo. Luego pasa por la función de transferencia y la entrega a la capa de salida para preparar resultados manteniendo los mismos procedimientos. Comparando los valores de salida con los valores objetivo, se calculan los errores. El entrenamiento de red no es más que ajustar pesos entre las conexiones de las neuronas. En el caso de Backpropagation (BP), los errores se retroalimentan para ajustar los pesos y mejorar la precisión. Este proceso de entrenamiento implica esencialmente la adaptación de los pesos entre las conexiones de las neuronas (Kabir & Hasan, 2013). El procedimiento se muestra en el diagrama de flujo (**Figura 17**).

Figura 17

Proceso de entrenamiento de una RNA



Nota: (Kabir & Hasan, 2013)

La retropropagación (Backpropagation) es el método más utilizado para entrenar redes neuronales artificiales, y existen diversas variantes del algoritmo que optimizan el ajuste de los pesos sinápticos para mejorar la precisión y eficiencia del modelo, tenemos retropropagación estándar, la retropropagación con momento, retropropagación con el algoritmo de Levenberg-Marquardt entre otras.

- **Algoritmo de Levenberg-Marquardt en redes neuronales artificiales**

El algoritmo de Levenberg-Marquardt (LM) es una técnica de optimización ampliamente aplicada en el entrenamiento de RNA, especialmente en tareas de regresión y ajuste de curvas. También conocido como método de mínimos cuadrados amortiguados, es un

procedimiento iterativo que busca minimizar una función de error en problemas no lineales mediante la técnica de mínimos cuadrados (Lourakis, 2005).

Este algoritmo está diseñado para aproximarse a una solución de segundo orden sin la necesidad de calcular explícitamente la matriz Hessiana, lo que permite entrenamientos rápidos y eficientes (MathWorks, 2024).

En comparación con otros métodos, el LM suele ofrecer mejores resultados en redes neuronales, aunque requiere un mayor esfuerzo computacional. Debido a su rapidez y eficacia, se utiliza por defecto en diversas plataformas de entrenamiento de redes neuronales (Vorobioff et al., 2022).

El algoritmo combina las ventajas del método de Gauss-Newton y el descenso más pronunciado, lo que le permite trabajar con funciones de error expresadas como la suma de errores cuadráticos (Martín del Brío & Sanz Molina, 2007).

$$f(w) = \sum_{i=0}^{m} e_i^2(w) \qquad (16)$$

En esta expresión, m representa el tamaño del conjunto de entrenamiento. La matriz Hessiana no se calcula de forma precisa, sino que se estima usando la matriz Jacobiana J junto con el vector gradiente (Vorobioff et al., 2022).

$$H \approx J^T.J + \mu.I \qquad (17)$$

y el gradiente puede calcularse como:

$$g = J^T.E \qquad (18)$$

El algoritmo de Levenberg-Marquardt es utilizado para encontrar las raíces de funciones definidas como la suma de cuadrados de funciones no lineales. Este método es especialmente empleado en el entrenamiento de redes neuronales, donde se apoya en una técnica iterativa basada en el método de Newton para identificar las raíces de una función. En este proceso, se aplica habitualmente para minimizar el error cuadrático medio de las salidas, siendo las raíces las que determinan los valores óptimos de los pesos W de las neuronas (Vorobioff et al., 2022). Según Hagan & Menaj (1994), el cálculo de la matriz Jacobiana en el contexto del algoritmo de Levenberg-Marquardt se puede realizar mediante una técnica estándar de retropropagación, lo cual resulta ser mucho menos complejo que calcular directamente la matriz Hessiana.

La actualización de los pesos W en las neuronas durante el entrenamiento de la red neuronal se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$W_{nuevo} = W_{actual} - [J^T.J + \mu.I]^{-1}.J^T.E \quad (19)$$

Siendo E es la matriz de errores en la red, I la matriz de identidad, μ es un parámetro de amortiguamiento que ajusta la actualización entre el método de Gauss-Newton y el descenso de gradiente y J es la matriz Jacobiana de la función de error, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$J = [\nabla E \, .J^{-1}]^T \quad (20)$$

en la cual ∇E es la matriz que contiene los gradientes de los errores. Los elementos individuales de la matriz Jacobiana se obtienen calculando la derivada parcial de cada error respecto a cada peso, expresado como:

$$J_{ij}(w) = \frac{\partial e_i}{\partial w_i} \quad (21)$$

Este procedimiento garantiza que la red ajuste sus pesos optimizando la función de error (Vorobioff et al., 2022).

El método de Levenberg-Marquardt es eficiente para entrenar redes neuronales con múltiples entradas, ya que reduce el número de iteraciones necesarias, aunque cada una demande más tiempo de procesamiento debido al cálculo de la matriz Jacobiana.

En MATLAB, **`trainlm`** es una función utilizada específicamente para entrenar redes neuronales mediante el algoritmo de Levenberg-Marquardt.

2.2.11.2.5. Fase de validación

Luego de completar la etapa de entrenamiento, los pesos de las conexiones en la red neuronal se establecen de manera definitiva. La validación de la red es esencial para confirmar su capacidad de abordar nuevos problemas similares a los del entrenamiento. Para esto, se utiliza un conjunto de datos adicional llamado conjunto de validación o prueba, que no se empleó durante el entrenamiento. Este conjunto permite evaluar la capacidad de generalización de la red y su habilidad para realizar predicciones precisas en situaciones no previamente vistas (Matich, 2001). La validación implica introducir nuevos datos en la red y comparar las predicciones con los resultados reales, evaluando métricas de rendimiento como el error cuadrático medio o la precisión.

2.2.11.2.6. Evaluación del desempeño

Los datos se utilizan para entrenar la RNA con algoritmos de *Backpropagation* y se prueban para obtener el mejor rendimiento. Los rendimientos de los algoritmos se evalúan mediante cuatro expresiones (Das et al., 2015):

- **Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE)**

Root-Mean-Square Error (RMSE) es una medida de uso frecuente de las diferencias entre los valores reales y los valores predichos por un modelo. El índice RMSE varía de 0 a infinito, donde 0 corresponde a un ajuste perfecto (Das et al., 2015). Se define:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n}.\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ai} - X_{pi}\right)^2} \quad (22)$$

donde X_{ai} y X_{pi} son valores reales y predichos, respectivamente.

- **Error absoluto medio (MAE)**

El error absoluto medio es una cantidad que se usa muy comúnmente para medir la precisión de los valores predichos. El MAE mide la magnitud promedio de los errores en un conjunto de pronósticos, sin considerar su dirección (Das et al., 2015). Se define:

$$MAE = \frac{1}{n}.\sum_{i=1}^{n}\left|X_{ai} - X_{pi}\right| \quad (23)$$

- **Coeficiente de correlación (R)**

El coeficiente de correlación mide la correlación estadística entre los valores predichos y reales. Los coeficientes de correlación se expresan como valores entre +1 y -1. Un coeficiente de +1 indica una correlación positiva perfecta. Un coeficiente de cero indica que no existe una relación distinguible entre las variables (Das et al., 2015). Es calculado como

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{ai} - \bar{X}_{ai})\left(X_{pi} - \bar{X}_{pi}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_{ai} - \bar{X}_{ai})^2 \sum_{i=1}^{n}\left(X_{pi} - \bar{X}_{pi}\right)^2}} \quad (24)$$

donde X_{ai} y X_{pi} son valores reales y predichos respectivamente, y $\bar{X}_{ai}$ y $\bar{X}_{pi}$ son valores medios de X_{ai} y X_{pi} respectivamente.

- **Eficiencia del modelo (coeficiente de Nash-Sutcliffe)**

La eficiencia del modelo (ME_{Nash}) es un criterio de evaluación propuesto por Nash y Sutcliffe (1970) para evaluar la eficiencia de los modelos hidrológicos. La eficiencia de Nash-Sutcliffe es una estadística ampliamente utilizada y potencialmente confiable para evaluar la bondad de un ajuste. Las eficiencias de Nash-Sutcliffe pueden oscilar entre −∞ y 1. Una eficiencia de 1 corresponde a una combinación perfecta de datos pronosticados con datos reales.

$$ME_{Nash} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ai} - X_{pi}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_{ai} - \bar{X}_{ai})^2} \quad (25)$$

donde X_{ai} y X_{pi} son valores reales y predichos respectivamente, y $\bar{X}_{ai}$ son los valores medios de X_{ai}.

2.2.11.3. Base de datos para redes neuronales

La base de datos utilizada contiene información técnica de 806 diseños de mezclas de concreto, de los cuales se seleccionaron 18 variables independientes relacionadas con propiedades físicas, granulométricas, volumétricas, de resistencia y del cemento. Estas variables permiten predecir cuatro variables dependientes: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, como se muestra en la **Tabla 2**.

2.3. Marco conceptual

El presente apartado establece los fundamentos conceptuales que sustentan la investigación, delimitando los términos esenciales relacionados con la aplicación de redes neuronales artificiales en el diseño de mezclas de concreto. Se exponen a continuación los conceptos clave que orientan el desarrollo del estudio.

Concreto

El concreto es un material heterogéneo y complejo, compuesto por cemento Portland, agua, agregados finos y gruesos, así como aditivos químicos y minerales que mejoran su comportamiento físico y mecánico. Su diseño se basa en proporciones específicas que permiten alcanzar propiedades determinadas según los requerimientos del proyecto. Entre ellas, la resistencia mecánica destaca por su importancia en la seguridad estructural (Abanto Castillo, 2009; Dinesh et al., 2023).

Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas consiste en el proceso mediante el cual se seleccionan y dosifican los materiales constitutivos del concreto que son el cemento, agua, agregados con el fin de obtener un producto con propiedades específicas requeridas, principalmente en términos de resistencia mecánica y trabajabilidad (Adil et al., 2022).

Inteligencia Artificial (IA)

La inteligencia artificial (IA) se refiere a sistemas capaces de aprender y tomar decisiones autónomas. Dahlke (2024) propone una definición sociotécnica, integrando funciones técnicas y propósito humano. Heaton (2018) describen la IA como la ciencia

de crear máquinas inteligentes, destacando su capacidad para replicar funciones cognitivas humanas mediante algoritmos de aprendizaje profundo.

Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son sistemas compuestos por múltiples unidades simples llamadas neuronas, interconectadas mediante enlaces que transportan datos numéricos denominados pesos. Cada neurona procesa información localmente a partir de las entradas recibidas. Durante el entrenamiento, se ajustan los pesos para permitir el aprendizaje y la autoorganización del sistema, superando limitaciones locales para resolver problemas complejos de manera eficiente (Oh et al., 1999).

Modelo predictivo

Un modelo predictivo es una herramienta matemática o computacional que, a partir de datos históricos y algoritmos específicos, permite anticipar o estimar resultados futuros. Estos modelos integran métodos de aprendizaje automático, análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data) y reconocimiento de patrones para generar pronósticos que facilitan la toma de decisiones mediante técnicas avanzadas de análisis de datos (edX, 2023).

Base de datos (database DB)

Una base de datos es un conjunto organizado de información estructurada que contiene registros relevantes para la investigación, utilizados para entrenar y validar modelos predictivos. Funciona como un almacén de datos organizados de diversas formas, representando aspectos específicos del mundo real que son de interés para el usuario y almacenando datos con un propósito determinado (Gutiérrez, 2015).

Algoritmo

El algoritmo de red neuronal de Microsoft es una versión adaptada y reconocida de la arquitectura usada en el aprendizaje automático. Evalúa múltiples configuraciones de entrada y predicción, determinando probabilidades para cada combinación con datos de entrenamiento. Esto posibilita predicciones basadas en atributos. También es útil en análisis de asociación. (Minewiskan, 2023).

Capítulo III

3. Método de la investigación

3.1. Enfoque

El estudio adopta un **enfoque cuantitativo**, basado en la recopilación, análisis y modelado de datos numéricos obtenidos de ensayos físico-mecánicos de mezclas de concreto. A través de redes neuronales artificiales, se modelan relaciones predictivas entre las variables de entrada (propiedades físico-mecánicas y parámetros de mezcla) y la variable de salida (dosificación), estimando las proporciones óptimas de los materiales. La naturaleza de los datos corresponde a características cuantificables (Ríos, 2017).

3.2. Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo)

El alcance de la investigación es descriptivo, correlacional y predictivo. Es descriptivo porque se caracterizan las propiedades físico–mecánicas de los materiales locales mediante ensayos normalizados; correlacional, porque se analiza la relación estadística entre dichas propiedades y la dosificación del concreto; y predictivo, porque se aplica RNA para predecir la dosificación óptima y mejorar el diseño.

3.3. Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental)

El estudio adopta un diseño cuasiexperimental de corte transversal, pues manipula la variable independiente aplicación de redes neuronales artificiales (RNA) para evaluar su efecto en el diseño de mezclas de concreto. Es transversal porque los datos se consolidan en un único periodo de análisis, validándose mediante ensayos físico–mecánicos normalizados.

3.4. Población y muestra

A. Población

La población de estudio está constituida por los diseños de mezclas de concreto desarrollados en Ayacucho, empleando materiales granulares extraídos de fuentes locales como Chillico y La Moderna. Esta información se encuentra sistematizada en bases de datos académicas recopiladas de investigaciones desarrolladas en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH).

B. Muestra

La muestra está compuesta principalmente por una base de datos de 806 registros de mezclas de concreto, que incluyen proporciones y características de materiales provenientes de canteras locales ubicadas en Ayacucho.

C. Muestreo

El muestreo adoptado en esta investigación es **no probabilístico, de tipo intencional o por criterio**, dado que la selección de la muestra no responde a una probabilidad estadística, sino a criterios técnicos vinculados a las características específicas del estudio. La muestra comprende 806 registros históricos, utilizados en el entrenamiento y validación interna del modelo, y 15 nuevos diseños de mezcla, elaborados para la validación externa mediante el método tradicional ACI 211.1, en condiciones controladas de laboratorio.

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

El modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales permite optimizar significativamente la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales de Ayacucho (2024), y ofrece una mayor precisión en comparación con los métodos estadísticos tradicionales.

3.5.2. Hipótesis específicas

1. El modelo predictivo con redes neuronales artificiales estima las dosificaciones del concreto eficazmente con un 95% de confianza.
2. El uso de una base de datos histórica mejora significativamente la precisión en la predicción de las dosificaciones del concreto.
3. El modelo de redes neuronales artificiales predice las dosificaciones del concreto con alta precisión, mostrando errores relativos porcentuales promedios inferiores al 5%.
4. Las redes neuronales artificiales presentan menor error de predicción que el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en la estimación de las dosificaciones del concreto, con un nivel de confianza del 95 %.

3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES
(Variable Independiente) **Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA)**	Son modelos computacionales inspirados en el sistema nervioso, conformados por neuronas artificiales organizadas en capas interconectadas. Procesan información mediante la propagación de señales ponderadas y generan salidas predictivas (IBM, 2021).	La variable se operacionaliza mediante la implementación de un modelo predictivo de RNA ajustado a una base de datos histórica de diseños de mezclas de concreto. Incluye la selección del algoritmo de entrenamiento, el ajuste de parámetros de red y la validación frente a métodos tradicionales (ACI 211.1 y RLMM). La eficacia se mide mediante indicadores de error, coeficientes de ajuste y análisis de concordancia entre valores predichos y experimentales.	X.1. Base de datos histórica X.2. Desempeño predictivo X.3. Capacidad de generalización X.4. Eficiencia computacional X.5. Validación estadística comparativa
(Variable Dependiente) **Diseño de mezcla del concreto**	Es el procedimiento mediante el cual se seleccionan y dosifican los componentes (cemento, agua, agregados) con el objetivo de alcanzar las propiedades de resistencia, trabajabilidad y durabilidad requeridas (Adil et al., 2022).	La variable se operacionaliza mediante la determinación de las dosificaciones de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso (kg/m³ o L/m³), verificadas experimentalmente en laboratorio mediante mezclas, probetas cilíndricas y ensayos de resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días.	Y1: Dosificaciones del concreto

Nota: Elaboración propia

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

Según Ríos (2017), las técnicas constituyen la parte abstracta de la recopilación de datos, siendo la vía que el investigador elige para obtener información y que, en consecuencia, define el instrumento a utilizar. En este estudio se emplearon las siguientes técnicas: Análisis documental, elaboración de especímenes**,** pruebas y análisis de laboratorio y procesamiento y análisis de datos.

3.7.2. Instrumentos esenciales de recolección de datos

De acuerdo con Ríos (2017) , un instrumento es la herramienta concreta que permite registrar la información proveniente de las unidades de análisis. En este estudio se utilizaron instrumentos vinculados a cada técnica, tal como se muestra en la siguiente **Tabla 4**:

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Fichas documentales, fichas de registro de ensayos, guías de laboratorio
Elaboración de especímenes	Moldes cilíndricos, cámara fotográfica
Pruebas y análisis de laboratorio	Máquina de compresión, equipos de ensayo de agregados y concreto
Procesamiento y análisis de datos	Software Matlab R2020a, Microsoft Excel, RStudio

Nota: Elaboración propia

En cuanto a las fuentes documentales, se recurrió a tesis, artículos científicos, libros especializados, normas técnicas (NTP, RNE, ASTM, ACI) y manuales de laboratorio. Asimismo, se emplearon registros experimentales de investigaciones previas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y otras fuentes locales, que sirvieron como insumo para el análisis y validación de datos experimentales.

3.7.3. Materiales y equipos

Los datos de validación se obtuvieron mediante la elaboración y ensayo de nuevas mezclas de concreto, empleando materiales y equipos de laboratorio. La **Tabla 5** presenta los materiales, aparatos y equipos empleados en la caracterización de agregados, mientras que la **Tabla 6** detalla aquellos utilizados en la preparación y ruptura de probetas, lo cual permitió validar experimentalmente las propiedades físico – mecánicas del concreto.

Tabla 5

Materiales, aparatos y equipos utilizados en la validación experimental

Materiales	Aparatos	Equipos
• Agregados de la cantera Chillico, La Moderna • Agua potable	• Tamices estándar ASTM (1” a N°200) • Bandejas metálicas resistentes • Cesta con malla de alambre • Depósito de agua, recipiente, equipo de calibración, varilla compactadora y pala de mano • Termómetro calibrado	• Estufa u horno de 0°C a 300°C (KAIZA CORP) • Balanza calibrada (0.1 g y 0.01 g) • Cámara fotográfica (registro experimental).

Nota: Elaboración propia

Tabla 6

Materiales, aparatos y equipos para preparación y ruptura de probetas de concreto

Materiales	Aparatos	Equipos
• Cemento Andino Premium (Cemento Portland Tipo I) • Agregados de la cantera La Moderna y Chillico • Agua potable	• Moldes cilíndricos de acero 6” × 12” (15.2 cm × 30.4 cm) • Cono de Abrams • Varilla compactadora de acero inoxidable • Vernier metálico graduado al milímetro • Bandejas metálicas • Termómetro calibrado	• Máquina para ensayos a compresión, modelo PC-180//PT 2115 • Mezcladora de concreto Bauker XH-PCM210 (capacidad 210 L / 7.42 pies^3) • Cámara fotográfica (registro experimental)

Nota: Elaboración propia

Las especificaciones del cemento utilizado se sustentan en la ficha técnica y el informe de calidad proporcionado por el fabricante (véase **Anexo K**).

Tabla 7

Requerimientos de Hardware y Software para la configuración de la RNA

Configuración para la red neuronal artificial
Requerimientos de Hardware y Software para pruebas • Hardware Usado: Se utilizó una laptop • Procesador: Intel(R) Core (TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz 2.21 GHz • RAM instalada: 16.0 GB (15.8 GB usable) • Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64 • Software Usado: Herramienta Matlab R2020a • Sistema Operativo: Windows 10 Home.

Nota: Elaboración propia.

3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

La presente investigación empleó técnicas estadísticas avanzadas para asegurar la calidad y validez de los datos, organizados y depurados en Microsoft Excel.
En la fase de preprocesamiento, se programaron y ejecutaron en MATLAB R2020a dos procedimientos para el tratamiento de valores atípicos: (i) el Modified Z-Score, aplicado de forma univariada a las 18 variables de entrada y 4 variables de salida para detectar outliers individuales, y (ii) la distancia de Mahalanobis, utilizada para identificar outliers multivariantes considerando simultáneamente todas las variables.

El modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM) se ajustó y evaluó en RStudio 2024.12.0, aplicando ANOVA para validar la significancia predictiva individual de cada variable de salida (cemento, agregado fino, agregado grueso y agua), y MANOVA para evaluar, de manera conjunta, la influencia de las 18 variables independientes sobre el conjunto completo de salidas, determinando la significancia global del RLMM. Asimismo, se verificaron gráficamente los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de residuos.

El modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) se desarrolló en NeuroMAT Toolbox v1.0 en MATLAB R2020a, donde también se integraron los resultados de ambos modelos para calcular métricas como RMSE, MAE, MSE, ME, MAPE, R, R^2 y NSE

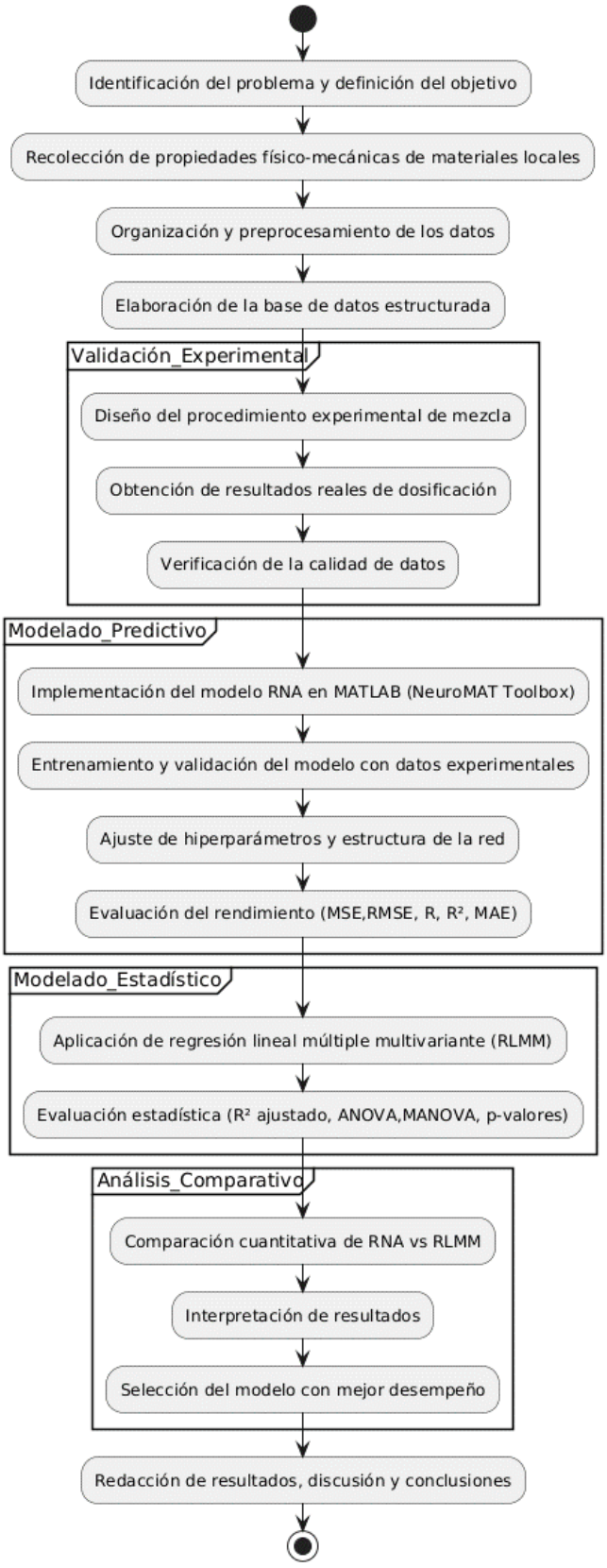
Finalmente, el análisis de Bland-Altman confirmó que las diferencias entre las dosificaciones estimadas por la RNA y el método ACI 211.1 se encontraban dentro de límites de concordancia aceptables, validando su aplicabilidad práctica en el diseño de mezclas de concreto.

3.9. Desarrollo del trabajo de tesis

A continuación, se presenta el flujo metodológico seguido para el desarrollo del presente trabajo de tesis. Este procedimiento comprende la validación experimental de datos, el modelado predictivo mediante redes neuronales artificiales y regresión lineal múltiple multivariante, así como la posterior comparación de ambos enfoques, tal como se muestra en la **Figura 18**.

Figura 18

Diagrama de flujo del desarrollo del trabajo de tesis



Nota: Elaboración propia.

3.9.1. Validación experimental para el modelado predictivo

Diseño de mezcla mediante el método tradicional (ACI 211.1)

Para la validación de las RNA y del modelado estadístico, se elaboraron un total de 135 especímenes cilíndricos de concreto, con dimensiones de 6” x 12” (nueve probetas por cada uno de los 15 diseños de mezcla). Se consideraron diversas proporciones correspondientes a los diferentes diseños. La fabricación y el curado de los especímenes se efectuaron conforme a las normativas vigentes: NTP 339.033:2021 y ASTM C31/C31M-2021, garantizando así la calidad y uniformidad de los ensayos.

3.9.1.1. Propiedades físicas de los agregados

1) Cantera “La Moderna”

La cantera “La Moderna” se localiza en el anexo Simpapata, específicamente en la zona de Pucapampa-Chillico, la cual pertenece al distrito de San José de Ticllas, en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, Perú.

Acceso

Se encuentra a la altura del kilómetro 16.4 de la carretera Ayacucho–Huanta, con una desviación hacia el tramo vial Acobamba I. Desde allí, se recorre aproximadamente 6.1 km hasta llegar a la cantera.

Según datos satelitales (Google Earth, 2024), la cantera se encuentra aproximadamente en las siguientes coordenadas:

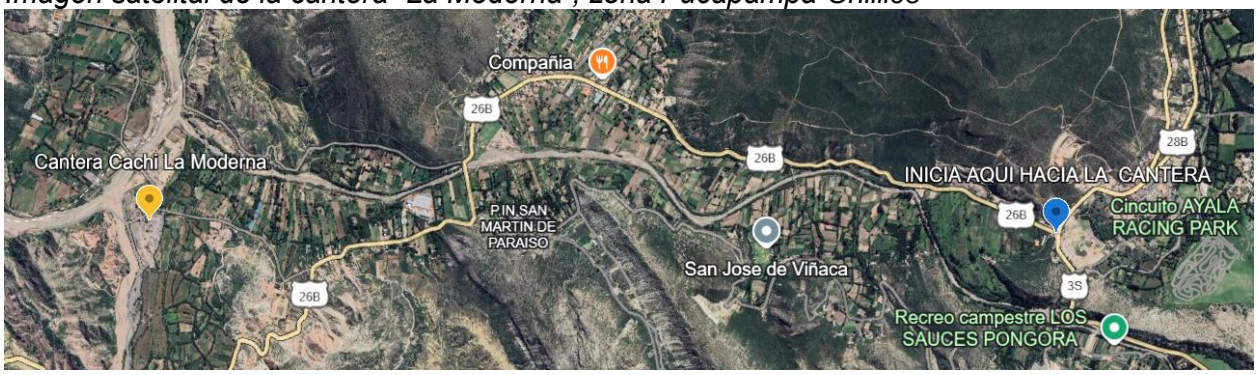
Latitud: 13°04'27.22" S

Longitud: 74°16'25.98" O

Altitud: Aproximadamente 2423 m.s.n.m.

Figura 19

Imagen satelital de la cantera “La Moderna”, zona Pucapampa-Chillico



Nota: (Google Earth, 2024)

La cantera, operada por La Moderna Perú, es una fuente reconocida de agregados en la región, ofreciendo arena gruesa, arena para asentar ladrillo, piedra de río y piedra chancada.

2) Cantera “Chillico”

La cantera “Chillico” se localiza en el anexo Simpapata, específicamente en la zona de Pucapampa-Chillico, la cual pertenece al distrito de San José de Ticllas, en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, Perú.

Acceso:

La cantera Chillico se encuentra ubicada a la altura del kilómetro 16.4 de la carretera Ayacucho–Huanta (Ruta PE-26B), en el distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho. El acceso a la cantera se realiza mediante una vía secundaria que parte desde dicha carretera, recorriendo aproximadamente 6.62 km a través de los centros poblados de Compañía, San Martín de Paraíso y San José de Viñaca, hasta llegar al área de explotación, ubicada antes del puente Chillicohuaycco.

Según datos satelitales (Google Earth, 2024), la cantera se encuentra aproximadamente en las siguientes coordenadas:

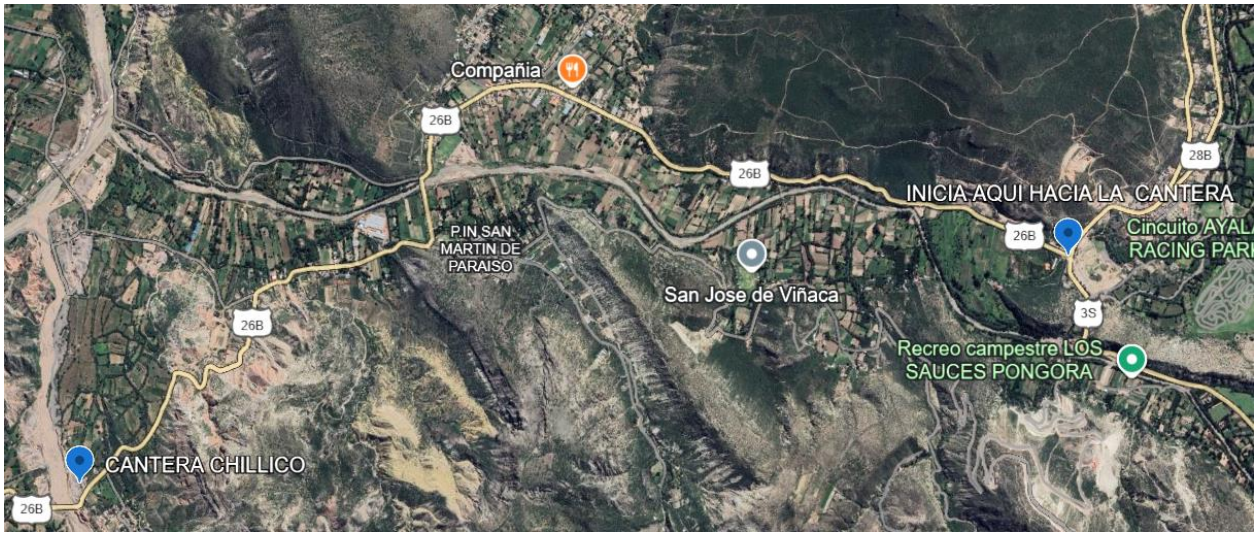
Latitud: 13° 05'08.56" S

Longitud: 74°16'29.26"O

Altitud: Aproximadamente 2465 m.s.n.m.

Figura 20

Imagen satelital de la cantera “Chillico”, zona Pucapampa-Chillico



Nota: (Google Earth, 2024)

Las **Tabla 8** a **Tabla 14** muestran las propiedades de los agregados recolectados en las canteras La Moderna y Chillico, cuyos detalles ampliados se encuentran disponibles en el **Anexo B**. Dichas tablas proporcionan datos fundamentales sobre las características físicas de los materiales.

Tabla 8

Propiedades de los agregados – cantera "La Moderna", muestra MM1

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo	-	1"
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Módulo de finura	3.52	7.07
Peso unitario suelto	1655.4 kg/m^3	1474.4 kg/m^3
Peso unitario compactado	1752.7 kg/m^3	1537.2 kg/m^3
Peso específico de masa	2.56	2.49
Absorción	1.84 %	1.63 %
Humedad	2.64 %	0.67 %

Nota: Elaboración propia

Tabla 9

Propiedades de los agregados – cantera "La Moderna", muestra MM2

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo	-	1"
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Módulo de finura	3.16	7.22
Peso unitario suelto	1598.3 kg/m^3	1417.8 kg/m^3
Peso unitario compactado	1732.7 kg/m^3	1497.7 kg/m^3
Peso específico de masa	2.55	2.55
Absorción	2.09 %	1.80 %
Humedad	3.56 %	0.68 %

Nota: Elaboración propia

Tabla 10

Propiedades de los agregados – cantera "La Moderna", muestra MM3

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo	-	1"
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Módulo de finura	3.39	7.34
Peso unitario suelto	1655.2 kg/m^3	1410.3 kg/m^3
Peso unitario compactado	1802.9 kg/m^3	1506.1 kg/m^3
Peso específico de masa	2.53	2.52
Absorción	2.14 %	1.77 %
Humedad	2.13 %	0.40 %

Nota: Elaboración propia

Tabla 11

Propiedades de los agregados – cantera "Chillico", muestra CM1

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo	-	3/4"
Tamaño máximo nominal	-	1/2"
Módulo de finura	3.62	6.79
Peso unitario suelto	1561.6 kg/m^3	1394.7 kg/m^3
Peso unitario compactado	1691.9 kg/m^3	1485.9 kg/m^3
Peso específico de masa	2.45	2.47
Absorción	3.11 %	3.00 %
Humedad	1.40 %	1.33 %

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Propiedades de los agregados – cantera "Chillico", muestra CM2

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo	-	3/4"
Tamaño máximo nominal	-	1/2"
Módulo de finura	3.88	6.78
Peso unitario suelto	1566.8 kg/m^3	1419.6 kg/m^3
Peso unitario compactado	1719.3 kg/m^3	1495.3 kg/m^3
Peso específico de masa	2.51	2.51
Absorción	2.34 %	2.42 %
Humedad	1.48 %	1.08 %

Nota: Elaboración propia

La cantidad de humedad presente en los agregados difiere según el diseño de mezcla considerado, tal como se muestra en las tablas correspondientes a cada caso.

Tabla 13

Humedad contenida según resistencias de diseño –cantera "La Moderna"

RESISTENCIA DE DISEÑO	MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
		AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
140 kg/cm^2	MM1	2.64	0.67
175 kg/cm^2	MM2	3.56	0.68
210 kg/cm^2	MM3	2.13	0.40

Nota: Elaboración propia

Tabla 14

Humedad contenida según resistencias de diseño – cantera "Chillico"

RESISTENCIA DE DISEÑO	MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
		AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
140 kg/cm^2	CM1	1.40	1.33
175 kg/cm^2 210 kg/cm^2	CM2	1.48	1.08

Nota: Elaboración propia

3.9.1.2. Procedimiento de preparación y dosificación de mezclas de concreto

1) Elaboración del diseño de mezcla utilizando el método tradicional (ACI 211.1)

Con el fin de obtener mezclas de concreto que cumplan con niveles específicos de resistencia a la compresión 140 kg/cm², 175 kg/cm² y 210 kg/cm² se empleó como base técnica el procedimiento establecido por el comité 211.1 del ACI.

2) Características y proporciones empleadas:

Se utilizó cemento Portland Tipo I, cumpliendo con los lineamientos de la norma técnica peruana NTP 334.090. Las características físicas y mecánicas de los materiales están detalladas en las tablas previamente mostradas. No se añadieron aditivos químicos adicionales en las mezclas. Las proporciones detalladas de los materiales empleados en cada diseño se encuentran especificadas en las **Tabla 15**, **Tabla 16**, **Tabla 17**, **Tabla 18** y **Tabla 19** las cuales se resumen en el **Anexo C** y **Anexo D**.

Tabla 15

Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera "La Moderna", muestra MM1

RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	RELACIÓN AGUA – CEMENTO (A/C)		DOSIFICACIÓN POR UNIDAD DE MEZCLA			
	DISEÑO	EFECTIVA	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (L)
140	0.68	0.69	299.708	897.444	848.030	206.092
175	0.63	0.63	326.433	875.151	848.030	206.266
210	0.56	0.56	367.120	841.212	848.030	206.530

Nota: Elaboración propia

Tabla 16

Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera "La Moderna", muestra MM2

RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	RELACIÓN AGUA – CEMENTO (A/C)		DOSIFICACIÓN POR UNIDAD DE MEZCLA			
	DISEÑO	EFECTIVA	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (L)
140	0.68	0.67	299.708	889.552	880.604	202.169
175	0.63	0.62	326.433	867.147	880.604	202.487
210	0.56	0.55	367.120	833.037	880.604	202.971

Nota: Elaboración propia

Tabla 17

Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera "La Moderna", muestra MM3

RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	RELACIÓN AGUA – CEMENTO (A/C)		DOSIFICACIÓN POR UNIDAD DE MEZCLA			
	DISEÑO	EFECTIVA	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (L)
140	0.68	0.72	299.708	890.326	848.302	216.663
175	0.63	0.66	326.433	868.403	848.302	216.660
210	0.56	0.59	367.120	835.028	848.302	216.657

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera "La Chillico", muestra CM1

RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	RELACIÓN AGUA – CEMENTO (A/C)		DOSIFICACIÓN POR UNIDAD DE MEZCLA			
	DISEÑO	EFECTIVA	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (L)
140	0.68	0.77	315.789	937.104	704.650	243.416
175	0.63	0.71	343.949	914.895	704.650	243.042
210	0.56	0.63	386.819	881.085	704.650	242.472

Nota: Elaboración propia

Tabla 19

Proporciones de diseño según resistencia de diseño – cantera "Chillico", muestra CM2

RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	RELACIÓN AGUA – CEMENTO (A/C)		DOSIFICACIÓN POR UNIDAD DE MEZCLA			
	DISEÑO	EFECTIVA	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (L)
140	0.68	0.74	315.789	1007.228	668.061	233.392
175	0.63	0.68	343.949	984.458	668.061	233.199
210	0.56	0.60	386.819	949.792	668.061	232.905

Fuente: Elaboración propia

3) Procedimiento de preparación de mezclas:

1. **Pesado de materiales:** Se realizó el pesaje individual de cada componente, ajustando el contenido de agua en función de la humedad de los agregados.

2. **Secuencia de mezclado:**

- Ubicación de los agregados secos dentro de la mezcladora.
- Añadidura del cemento.

- Incorporación gradual del agua.
- Duración total de la mezcla: 3 minutos (mínimo), 5 minutos (óptimo).

3. **Control de manejabilidad:** La evaluación se llevó a cabo a través de la prueba de asentamiento (slump), utilizando el cono de Abrams. Se definió un objetivo de rango de asentamiento de 4 ± 1 pulgadas (100 ± 25 mm), lo que representa una consistencia plástica ideal para facilitar la colocación sin provocar segregaciones ni exudaciones. Esta consistencia permite una adecuada consolidación del concreto mediante vibrado manual con chuzo, garantizando así un correcto llenado de los moldes y una compactación uniforme.

4) Curado y ensayo de especímenes:

- Moldeo de probetas: Se emplearon moldes cilíndricos de dimensiones 15 cm x 30 cm, siguiendo lo establecido en la norma ASTM C31.
- Número de probetas por mezcla: Para cada nivel de resistencia se elaboraron tres cilindros de concreto, sumando un total de nueve especímenes por cada diseño de mezcla.
- Condiciones durante el curado: Las probetas fueron curadas mediante inmersión permanente en agua a una temperatura controlada de 20 ± 2 °C, conforme a las normas NTP 339.033:2021 y ASTM C31/C31M-2021. Este proceso se realizó durante períodos de 7, 14 y 28 días, considerando la edad de ensayo correspondiente, con el propósito de evaluar la evolución de resistencia a compresión en función del tiempo de curado (NTP 339.033, 2021).
- Prueba de resistencia a compresión: Se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM C39. La carga fue aplicada con una velocidad controlada y se registró la carga máxima de ruptura en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Se evaluaron cinco muestras de concreto de las canteras “La Moderna” (identificadas como MM1, MM2 y MM3) y “Chillico” (denominadas CM1 y CM2). en distintas edades de curado, según la **Tabla 20**, para determinar su resistencia real a la compresión.

Tabla 20

Distribución de probetas para cada ensayo

ORIGEN	MUESTRA	RESISTENCIA DE DISEÑO kg/cm²	EDAD DE ENSAYO 7 días	14 días	28 días	SUB TOTAL
Cantera "La Moderna"	MM1	140	3	3	3	9
		175	3	3	3	9
		210	3	3	3	9
	MM2	140	3	3	3	9
		175	3	3	3	9
		210	3	3	3	9
	MM3	140	3	3	3	9
		175	3	3	3	9
		210	3	3	3	9
Cantera "Chillico"	CM1	140	3	3	3	9
		175	3	3	3	9
		210	3	3	3	9
	CM2	140	3	3	3	9
		175	3	3	3	9
		210	3	3	3	9
					TOTAL	135

Nota: Elaboración propia

Los resultados de las pruebas de resistencia a compresión se presentan en el **Anexo E.**

3.9.2. Modelado predictivo mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA)

A continuación, en la **Figura 21**, se presenta el flujo de entrada y salida de datos del modelo predictivo desarrollado mediante redes neuronales artificiales, el cual evidencia el proceso completo desde la recopilación de los datos hasta la obtención de los valores óptimos para el diseño de mezcla de concreto.

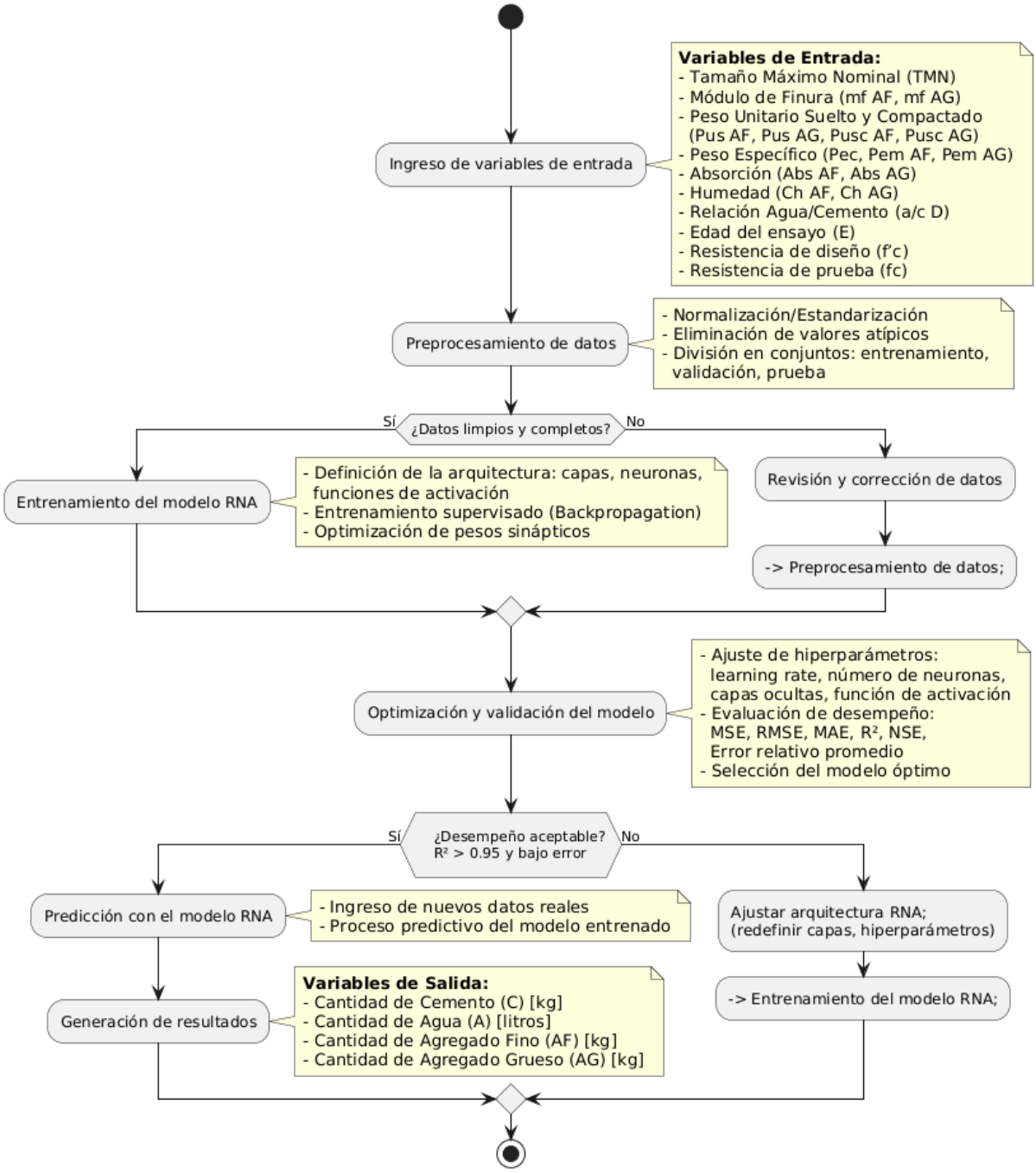
3.9.2.1. Preparación de la base de datos

En el **Anexo F** se detallan 806 registros de mezclas de concreto con resistencias de diseño de 140, 175 y 210 kg/cm², basados en las variables presentadas en la **Tabla 2**. Estos datos, obtenidos a partir de investigaciones realizadas en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) y otras instituciones, fueron preprocesados mediante normalización, la cual puede realizarse automáticamente con la herramienta "**NeuroMAT Toolbox v1.0**" en MATLAB o externamente mediante el programa con interfaz gráfica "**Normalización Avanzada de Datos**", ambos desarrollados por el tesista (**Figura 22**). Finalmente, los datos fueron divididos en 70 % para entrenamiento, 15 % para validación y 15 % para prueba, permitiendo evaluar adecuadamente el

rendimiento del modelo. El manual de usuario de **NeuroMAT Toolbox v1.0** se encuentra en el **Anexo G**, específicamente en el apartado **G. 4. Guía de uso del programa NeuroMAT Toolbox v1.0.**

Figura 21

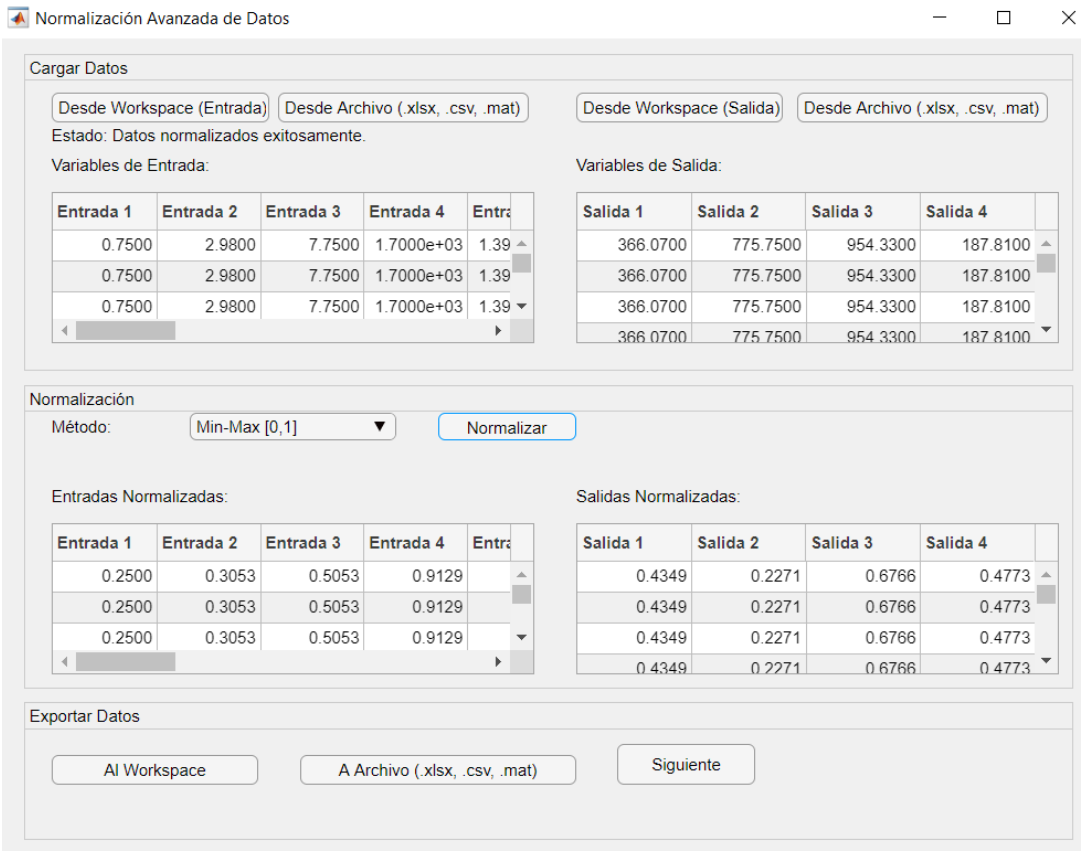
Flujo del modelo predictivo basado en RNA



Nota: Elaboración propia

Figura 22

Interfaz gráfica Normalización y Desnormalización Avanzada de Datos



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.2.2. Definición de variables predictoras o de entrada (Input) y salida (Target)

Para el desarrollo del modelo predictivo basado en RNA se establecieron tres conjuntos principales: variables de entrada (X), variables de salida (Y) y el conjunto de validación.

- Variables de entrada (Input): corresponden a los predictores derivados de las propiedades de los materiales y las condiciones de diseño, organizados a partir de la base de datos recopilada (**Anexo F**).
- Variables de salida (Target): representan las cantidades unitarias de los componentes del concreto (cemento, agua, agregado fino y agregado grueso).
- Conjunto de validación: conformado por 15 diseños experimentales de mezclas, empleados para contrastar la capacidad predictiva de la red (sección **3.9.1.2**).

Los datos se organizaron en matrices donde cada columna representa un parámetro y cada fila un diseño de mezcla, asegurando compatibilidad con las funciones de MATLAB y un entrenamiento eficiente. Asimismo, se aplicaron procesos de normalización, control

de calidad de datos y división en subconjuntos (entrenamiento, validación y prueba) para garantizar la consistencia del modelo. Los detalles del procedimiento y configuraciones aplicadas en la interfaz **NeuroMAT Toolbox v1.0** se documentan en el **Anexo G**, mientras que la organización matricial se ilustra en la **Tabla 21**.

Tabla 21

18 variables de entrada para la validación de resultados

Tamaño Máximo Nominal (pulg)	Módulo de Finura del Agregado Fino	Módulo de Finura del Agregado Grueso	Peso Unitario Suelto del Agregado Fino (Kg/m3)	Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso (Kg/m3)	Peso Unitario Compactado del Agregado Fino (Kg/m3)	Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso (Kg/m3)	Peso Específico del Cemento	Peso Específico de masa del Agregado Fino (Kg/m3)	Peso Específico de masa del Agregado Grueso (Kg/m3)	Absorción del Agregado Fino (%)	Absorción del Agregado Grueso (%)	Contenido de Humedad del Agregado Fino (%)	Contenido de Humedad del Agregado Grueso (%)	Relación Agua - Cemento de Diseño (lts/Kg)	Edad de Ensayo (días)	Resistencia de Diseño (Kg/cm2)	Resistencia de Testigo (Kg/cm2)
3/4	3.52	7.07	1655.4	1474.4	1752.7	1537.2	3.15	2.56	2.49	1.84	1.63	2.64	0.67	0.68	28	140	175.177
3/4	3.52	7.07	1655.4	1474.4	1752.7	1537.2	3.15	2.56	2.49	1.84	1.63	2.64	0.67	0.63	28	175	189.999
3/4	3.52	7.07	1655.4	1474.4	1752.7	1537.2	3.15	2.56	2.49	1.84	1.63	2.64	0.67	0.56	28	210	265.845
3/4	3.16	7.22	1598.3	1417.8	1732.7	1497.7	3.15	2.55	2.55	2.09	1.8	3.56	0.68	0.68	28	140	194.876
3/4	3.16	7.22	1598.3	1417.8	1732.7	1497.7	3.15	2.55	2.55	2.09	1.8	3.56	0.68	0.63	28	175	252.537
3/4	3.16	7.22	1598.3	1417.8	1732.7	1497.7	3.15	2.55	2.55	2.09	1.8	3.56	0.68	0.56	28	210	271.195
3/4	3.39	7.34	1655.2	1410.3	1802.9	1506.1	3.15	2.53	2.52	2.14	1.77	2.13	0.4	0.68	28	140	190.823
3/4	3.39	7.34	1655.2	1410.3	1802.9	1506.1	3.15	2.53	2.52	2.14	1.77	2.13	0.4	0.63	28	175	255.605
3/4	3.39	7.34	1655.2	1410.3	1802.9	1506.1	3.15	2.53	2.52	2.14	1.77	2.13	0.4	0.56	28	210	263.121
1/2	3.62	6.79	1561.6	1394.7	1691.9	1485.9	3.15	2.45	2.47	3.11	3	1.4	1.33	0.68	28	140	156.425
1/2	3.62	6.79	1561.6	1394.7	1691.9	1485.9	3.15	2.45	2.47	3.11	3	1.4	1.33	0.63	28	175	259.234
1/2	3.62	6.79	1561.6	1394.7	1691.9	1485.9	3.15	2.45	2.47	3.11	3	1.4	1.33	0.56	28	210	312.612
1/2	3.88	6.78	1566.8	1419.6	1719.3	1495.3	3.15	2.51	2.51	2.34	2.42	1.48	1.08	0.68	28	140	222.226
1/2	3.88	6.78	1566.8	1419.6	1719.3	1495.3	3.15	2.51	2.51	2.34	2.42	1.48	1.08	0.63	28	175	216.278
1/2	3.88	6.78	1566.8	1419.6	1719.3	1495.3	3.15	2.51	2.51	2.34	2.42	1.48	1.08	0.56	28	210	248.687

Nota: Elaboración propia

3.9.2.3. Configuración y entrenamiento del modelo en MATLAB

En el presente trabajo se empleó una red neuronal artificial de tipo feedforward, entrenada mediante el algoritmo Levenberg–Marquardt (trainlm), implementada a través de una interfaz gráfica desarrollada en **NeuroMAT Toolbox v1.0** en MATLAB (**Figura 23**) para modelar las complejas relaciones en el diseño de mezclas de concreto. El enfoque adoptado implica la creación iterativa de la red utilizando el método

de retropropagación, aprovechando las capacidades de configuración visual y monitoreo en tiempo real que ofrece la herramienta. La aplicación gestiona un conjunto de datos compuesto por 806 muestras que cumplen con los criterios de resistencia de diseño (140, 175 y 210 kg/cm²), desarrollando un modelo predictivo para optimizar las proporciones de los materiales en función de sus propiedades.

Configuración de datos y preprocesamiento

Se utilizan 18 parámetros clave como variables de entrada:

- **Propiedades físicas de agregados:**
  Tamaño máximo nominal (pulg), módulo de finura (fino/grueso), peso unitario (suelto/compactado), peso específico, absorción, humedad

- **Variables de diseño:**
  Relación agua-cemento, edad del ensayo (días), resistencia de diseño/testigo (kg/cm²)

Las 4 variables objetivo predicen la dosificación por m³: cemento (kg), agregado Fino (kg), agregado grueso (kg), agua (litros).

Todos los datos se normalizan al rango [-1, 1] mediante `mapminmax` para mejorar la eficiencia del entrenamiento:

```
[X_norm, X_settings] = mapminmax(X, -1, 1);   % Normalización de entradas
[Y_norm, Y_settings] = mapminmax(Y, -1, 1);  % Normalización de salidas
```

La normalización se aplica automáticamente a nuevas predicciones:

```
Xnew_norm = mapminmax('apply', X_new, X_settings); % Escalado de entradas
Ypred_norm = net(Xnew_norm);  % Predicción
Ypred = mapminmax('reverse', Ypred_norm, Y_settings); % Desnormalización
```

Arquitectura y entrenamiento de la red neuronal

La red implementada utiliza una arquitectura flexible con 1-2 capas ocultas (2-26 neuronas por capa), configurada mediante la interfaz gráfica. Las funciones de transferencia seleccionadas son:

- **Capas ocultas:** `tansig` (tangente sigmoide) para modelar no linealidades.
- **Capa de salida:** `tansig` (tangente sigmoide), adecuada para rangos de salida acotados.

Algoritmo de entrenamiento:

- **Levenberg-Marquardt** `(trainlm)` **:** Optimizado para problemas de regresión rápida con conjuntos de tamaño moderado (806 muestras).

Parámetros de entrenamiento:

- **División de datos:** 70% entrenamiento, 15% validación, 15% prueba.
- **Máximo de épocas (iteraciones):** 1000.
- **Tolerancia de error:** 0.001 (MSE).

Funcionalidades avanzadas de la interfaz

La herramienta integra capacidades para:

1. **Visualización de la red:** Diagrama interactivo de capas y conexiones.
2. **Monitoreo en tiempo real:** Gráficas de rendimiento (MSE por épocas) y correlación (R).

3. **Análisis post-entrenamiento:**

- Métricas internas del modelo (RMSE, MAE, R^2) por conjunto (train/val/test).
- Gráficos de regresión comparando valores reales vs. predichos.

4. **Exportación:**

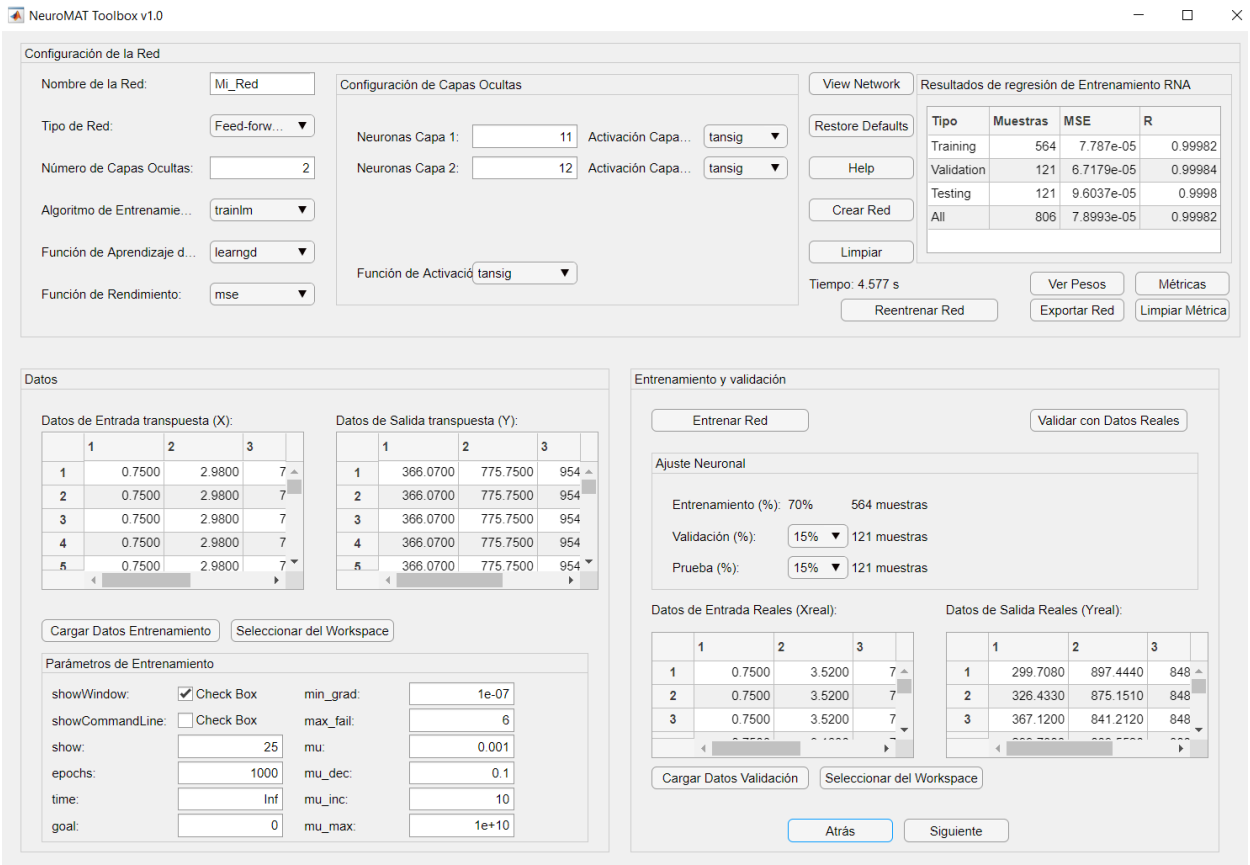
- Modelos en formato `.mat` (pesos, arquitectura, parámetros de normalización).
- Resultados en CSV/Excel para integración con otros sistemas.

3.9.2.4. Evaluación del modelo de RNA: MSE, R, MAE, regresión de salida

Se diseñaron y evaluaron **25 configuraciones** distintas de redes neuronales artificiales (RNA), con el propósito de modelar y predecir las dosificaciones óptimas en mezclas de concreto. El modelo adoptó una arquitectura feedforward entrenada mediante el algoritmo Levenberg–Marquardt (trainlm), basado en la técnica de retropropagación del error, la cual ajusta los pesos sinápticos minimizando el error entre la salida deseada y la predicha. La

estructura de la red fue determinada mediante un enfoque de prueba y error, iniciando con dos neuronas en la capa oculta e incrementando progresivamente hasta 26 neuronas, evaluando en cada caso la precisión, estabilidad y capacidad predictiva del modelo.

Figura 23
Interfaz gráfica NeuroMAT Toolbox v1.0 desarrollada en MATLAB



Fuente: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La evaluación del rendimiento de cada red se fundamentó en métricas internas del modelo tales como el Error Cuadrático Medio (MSE), la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Absoluto Medio (MAE), el Coeficiente de Correlación (R) y el Coeficiente de Determinación (R^2). Dichos indicadores posibilitaron el análisis tanto de la exactitud de las predicciones como de la habilidad del modelo para generalizar más allá del conjunto de entrenamiento.

La **Tabla 22** ofrece un resumen detallado de los resultados obtenidos, detallando la estructura de cada red, el número total de neuronas, el tiempo de procesamiento, las épocas requeridas y los valores de R para los subconjuntos de entrenamiento (R_Train), validación (R_Val),

prueba (R_Test) y conjunto general (R_All). Esta presentación permite una comparación objetiva y sólida entre las diferentes configuraciones.

Tabla 22

Selección del modelo RNA con número óptimo de neuronas

Red Neuronal	Configuración	Nº Neuronas	Capas	Tiempo (s)	Épocas	MSE	RMSE	R	R²	MAE
Mi_Red_2_04-Apr-2025_09-54-11	2	2	1	0.997	265	0.0403131	0.2007812	0.9057636	0.8056782	0.1411534
Mi_Red_3_04-Apr-2025_09-58-12	3	3	1	1.203	283	0.0123689	0.1112158	0.9716091	0.9403778	0.0669657
Mi_Red_4_04-Apr-2025_10-05-38	4	4	1	1.510	343	0.0030578	0.0552977	0.9931767	0.9852603	0.0343151
Mi_Red_5_04-Apr-2025_10-10-32	5	5	1	3.009	575	0.0010155	0.0318667	0.9977045	0.9951050	0.0197422
Mi_Red_6_04-Apr-2025_10-19-14	6	6	1	7.983	1000	0.0003107	0.0176256	0.9992988	0.9985025	0.0088247
Mi_Red_7_04-Apr-2025_10-36-55	7	7	1	4.456	491	0.0001571	0.0125331	0.9996445	0.9992428	0.0048894
Mi_Red_8_04-Apr-2025_10-42-47	8	8	1	4.366	437	0.0001342	0.0115865	0.9996967	0.9993529	0.0044917
Mi_Red_9_04-Apr-2025_10-53-42	9	9	1	1.869	182	0.0001825	0.0135090	0.9995870	0.9991203	0.0058671
Mi_Red_10_04-Apr-2025_11-10-12	10	10	1	6.021	496	0.0001163	0.0107854	0.9997365	0.9994393	0.0038229
Mi_Red_11_05-Apr-2025_18-21-26	11	11	1	4.465	335	0.0000967	0.0098344	0.9997807	0.9995338	0.0033469
Mi_Red_12_06-Apr-2025_21-06-02	12	12	1	9.297	548	0.0001001	0.0100050	0.9997733	0.9995175	0.0034740
Mi_Red_13_07-Apr-2025_15-50-34	13	13	1	2.661	175	0.0002341	0.0152994	0.9994702	0.9988717	0.0050154
Mi_Red_14_07-Apr-2025_17-08-16	5-9	14	2	1.377	135	0.0003616	0.0190161	0.9991824	0.9982569	0.0104667
Mi_Red_15_07-Apr-2025_19-42-51	15	15	1	0.873	46	0.0002623	0.0161951	0.9994134	0.9987357	0.0079158
Mi_Red_16_07-Apr-2025_22-18-31	16	16	1	5.965	280	0.0001059	0.0102927	0.9997598	0.9994893	0.0032436
Mi_Red_17_08-Apr-2025_22-40-24	11-6	17	2	1.366	86	0.0002042	0.0142885	0.9995404	0.9990159	0.0062812
Mi_Red_18_09-Apr-2025_15-35-39	9-9	18	2	1.718	107	0.0001406	0.0118593	0.9996824	0.9993221	0.0047115
Mi_Red_19_09-Apr-2025_19-16-44	8-11	19	2	2.952	192	0.0001366	0.0116881	0.9996907	0.9993415	0.0045869
Mi_Red_20_09-Apr-2025_21-18-17	20	20	1	2.920	95	0.0001964	0.0140128	0.9995547	0.9990535	0.0052839
Mi_Red_21_30-Apr-2025_05-52-10	10-11	21	2	3.669	120	0.0001225	0.0110674	0.9997226	0.9994096	0.0031081
Mi_Red_22_30-Apr-2025_12-13-28	11-11	22	2	4.455	135	0.0001120	0.0105809	0.9997464	0.9994603	0.0035718
Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18	11-12	23	2	4.577	169	0.0000790	0.0088878	0.9998210	0.9996192	0.0030581
Mi_Red_24_30-Apr-2025_16-28-26	12-12	24	2	5.478	223	0.0000886	0.0094144	0.9997993	0.9995728	0.0032353
Mi_Red_25_29-Apr-2025_22-25-05	25	25	1	4.763	93	0.0002174	0.0147438	0.9995081	0.9989522	0.0054465
Mi_Red_26_30-Apr-2025_16-54-40	13-13	26	2	9.300	295	0.0001574	0.0125477	0.9996500	0.9992411	0.0038596

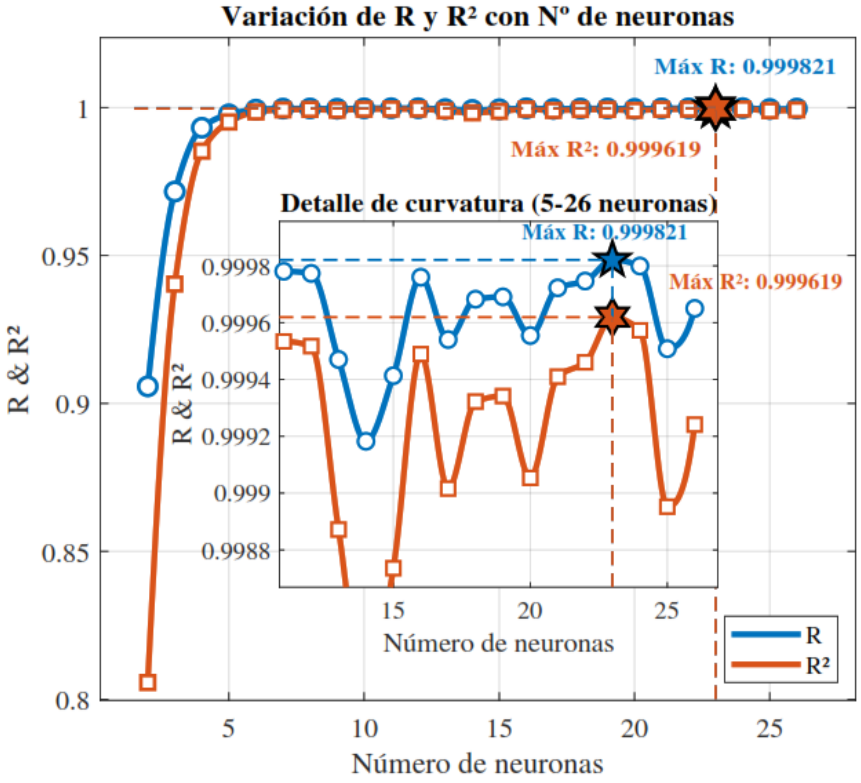
Red Neuronal	Configuración	Nº Neuronas	Capas	Tiempo (s)	Épocas	R_Train	R_Val	R_Test	R_All
Mi_Red_2_04-Apr-2025_09-54-11	2	2	1	0.997	265	0.9005815	0.9225107	0.9132399	0.9057636
Mi_Red_3_04-Apr-2025_09-58-12	3	3	1	1.203	283	0.9699969	0.9767442	0.9741472	0.9716091
Mi_Red_4_04-Apr-2025_10-05-38	4	4	1	1.510	343	0.9935817	0.9925506	0.9919635	0.9931767
Mi_Red_5_04-Apr-2025_10-10-32	5	5	1	3.009	575	0.9978015	0.9975035	0.9974901	0.9977045
Mi_Red_6_04-Apr-2025_10-19-14	6	6	1	7.983	1000	0.9993334	0.9992414	0.9991804	0.9992988
Mi_Red_7_04-Apr-2025_10-36-55	7	7	1	4.456	491	0.9996857	0.9996013	0.9995004	0.9996445
Mi_Red_8_04-Apr-2025_10-42-47	8	8	1	4.366	437	0.9996826	0.9997900	0.9996695	0.9996967
Mi_Red_9_04-Apr-2025_10-53-42	9	9	1	1.869	182	0.9996217	0.9996659	0.9993383	0.9995870
Mi_Red_10_04-Apr-2025_11-10-12	10	10	1	6.021	496	0.9997988	0.9996702	0.9995125	0.9997365
Mi_Red_11_05-Apr-2025_18-21-26	11	11	1	4.465	335	0.9998178	0.9996800	0.9997043	0.9997807
Mi_Red_12_06-Apr-2025_21-06-02	12	12	1	9.297	548	0.9997928	0.9996812	0.9997753	0.9997733
Mi_Red_13_07-Apr-2025_15-50-34	13	13	1	2.661	175	0.9996609	0.9994423	0.9986847	0.9994702
Mi_Red_14_07-Apr-2025_17-08-16	5-9	14	2	1.377	135	0.9993331	0.9989912	0.9986538	0.9991824
Mi_Red_15_07-Apr-2025_19-42-51	15	15	1	0.873	46	0.9994486	0.9992448	0.9994271	0.9994134
Mi_Red_16_07-Apr-2025_22-18-31	16	16	1	5.965	280	0.9997782	0.9997456	0.9996817	0.9997598
Mi_Red_17_08-Apr-2025_22-40-24	11-6	17	2	1.366	86	0.9995366	0.9995996	0.9995034	0.9995404
Mi_Red_18_09-Apr-2025_15-35-39	9-9	18	2	1.718	107	0.9997333	0.9996383	0.9994792	0.9996824
Mi_Red_19_09-Apr-2025_19-16-44	8-11	19	2	2.952	192	0.9997218	0.9995517	0.9996811	0.9996907
Mi_Red_20_09-Apr-2025_21-18-17	20	20	1	2.920	95	0.9996573	0.9994404	0.9992002	0.9995547
Mi_Red_21_30-Apr-2025_05-52-10	10-11	21	2	3.669	120	0.9997918	0.9997799	0.9993803	0.9997226
Mi_Red_22_30-Apr-2025_12-13-28	11-11	22	2	4.455	135	0.9997739	0.9996152	0.9997520	0.9997464
Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18	11-12	23	2	4.577	169	0.9998215	0.9998393	0.9998035	0.9998210
Mi_Red_24_30-Apr-2025_16-28-26	12-12	24	2	5.478	223	0.9998162	0.9997897	0.9997303	0.9997993
Mi_Red_25_29-Apr-2025_22-25-05	25	25	1	4.763	93	0.9996234	0.9990417	0.9994175	0.9995081
Mi_Red_26_30-Apr-2025_16-54-40	13-13	26	2	9.300	295	0.9996391	0.9996803	0.9996744	0.9996500

Nota: Elaboración propia.

Basado en la **Tabla 22** y la **Figura 24** y **Figura 26**, el modelo de red neuronal con dos capas ocultas (11 y 12 neuronas) mostró el mejor desempeño, por lo que se seleccionó para una validación más exhaustiva en las próximas fases del estudio.

Figura 24

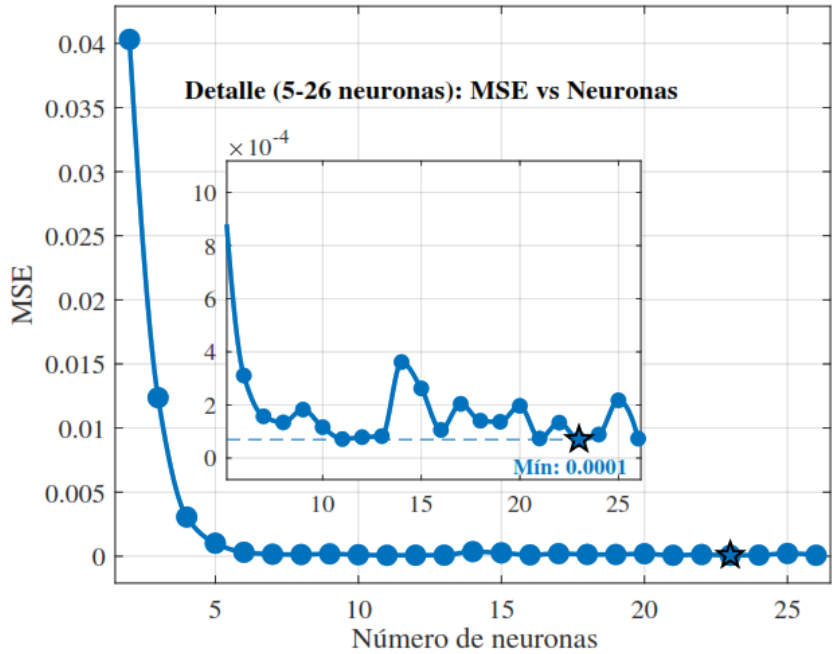
Variación de R y R² con Nº de neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

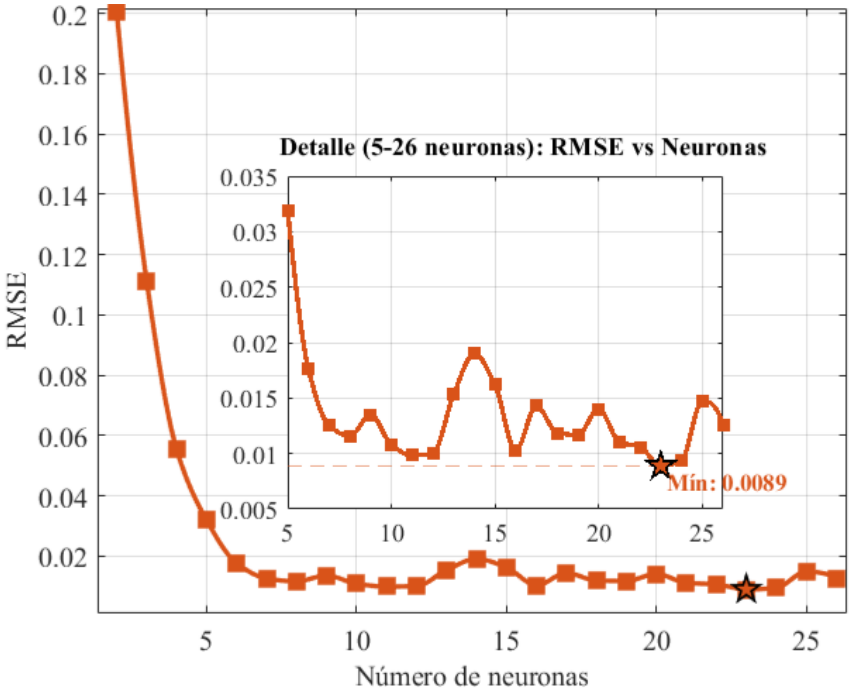
Figura 25

Variación MSE vs Neuronas



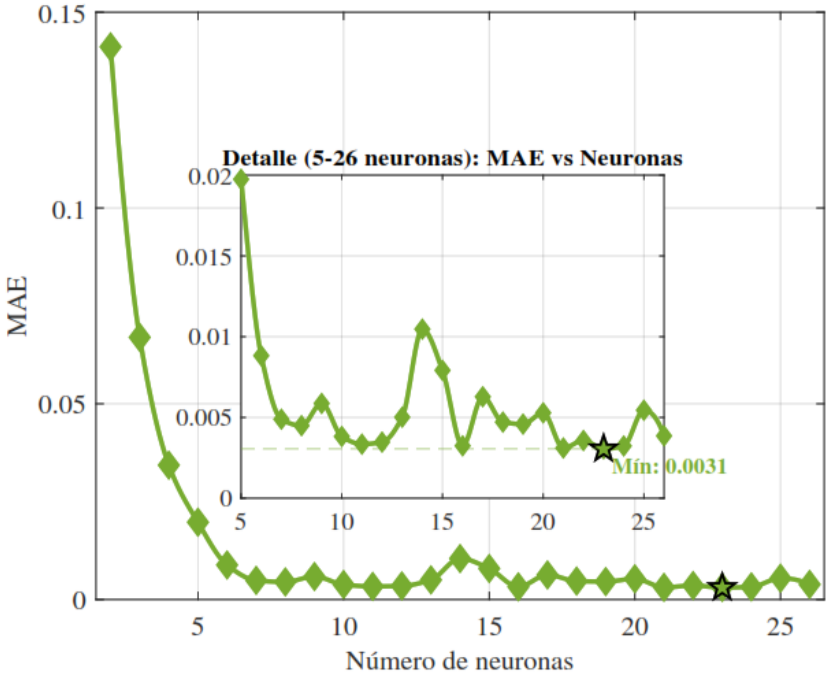
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 26
Variación de RMSE vs Neuronas



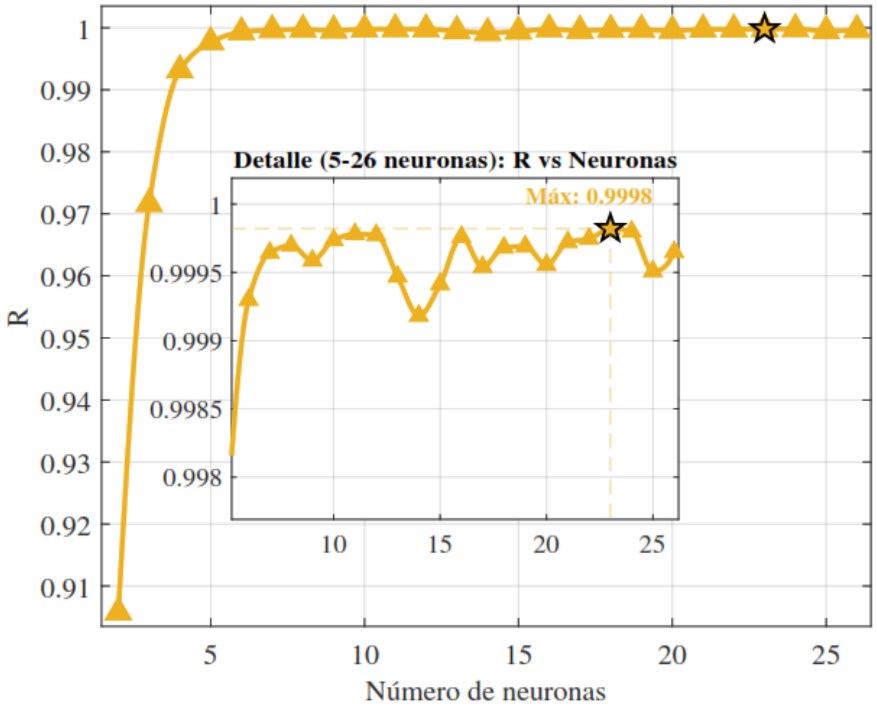
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 27
Variación de MAE vs Neuronas



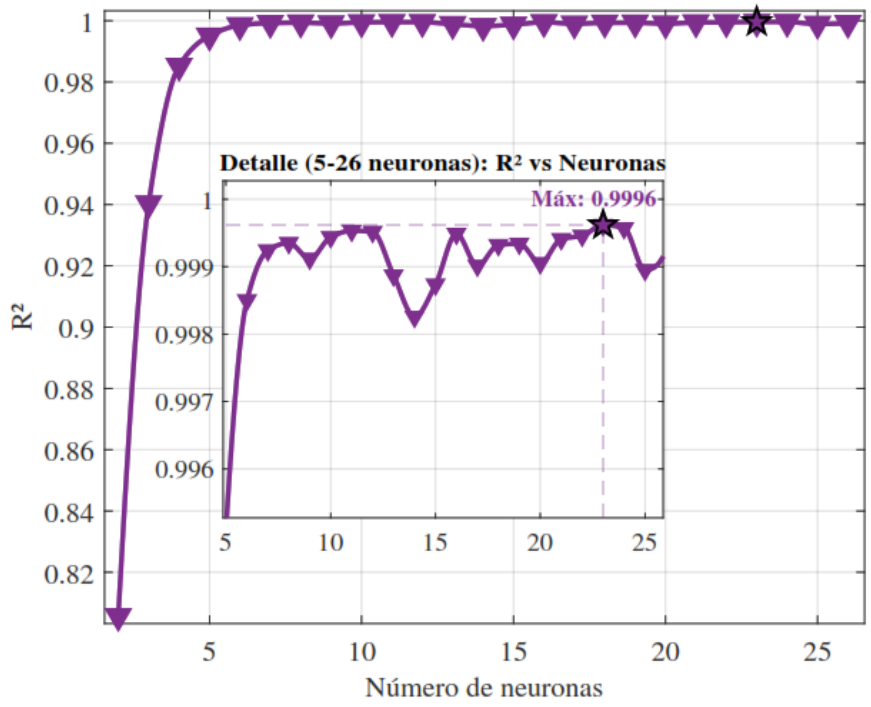
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 28
Variación de R vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

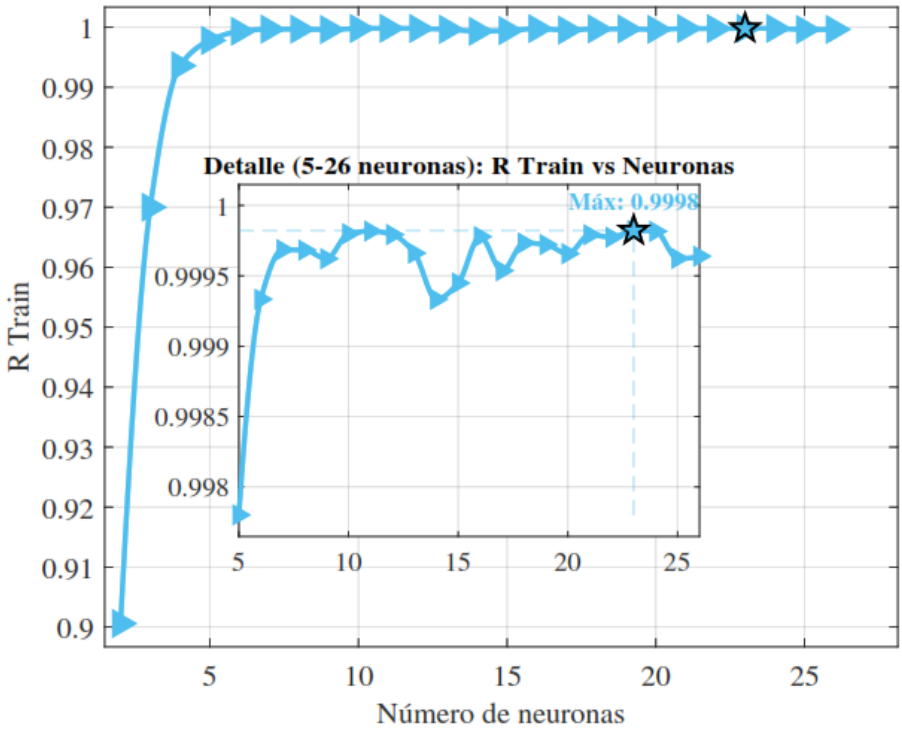
Figura 29
Variación de R^2 vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 30

Variación de R_Train vs Neuronas

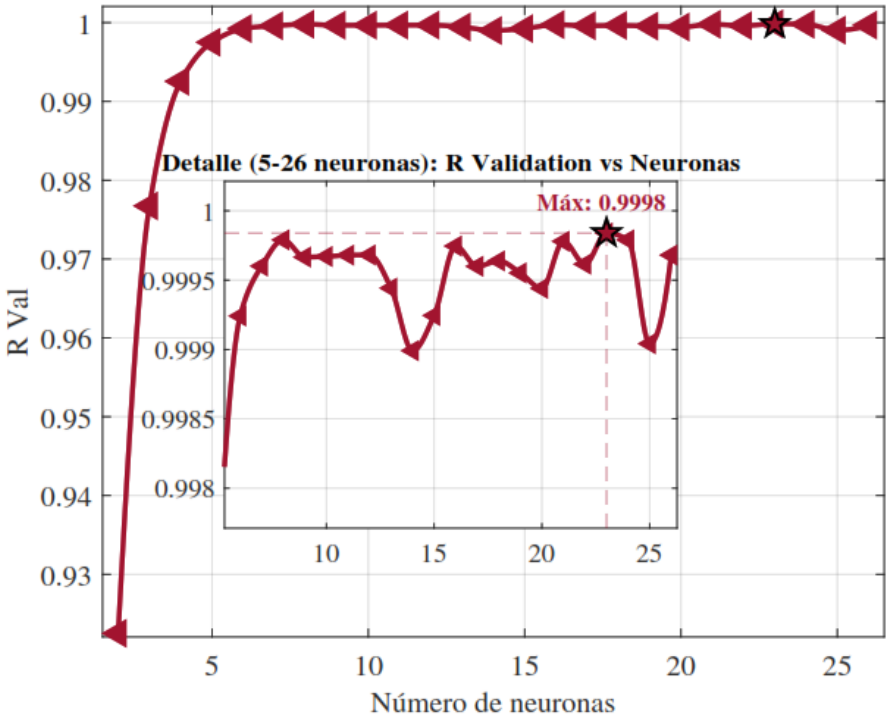


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 31

Variación de R_Validation vs Neuronas

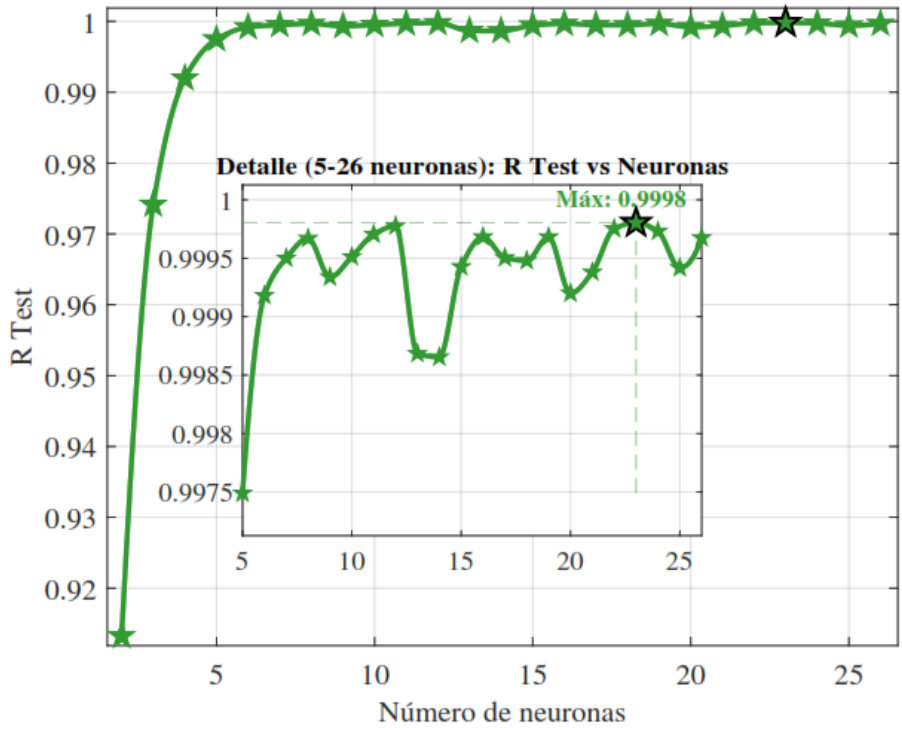
.



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 32

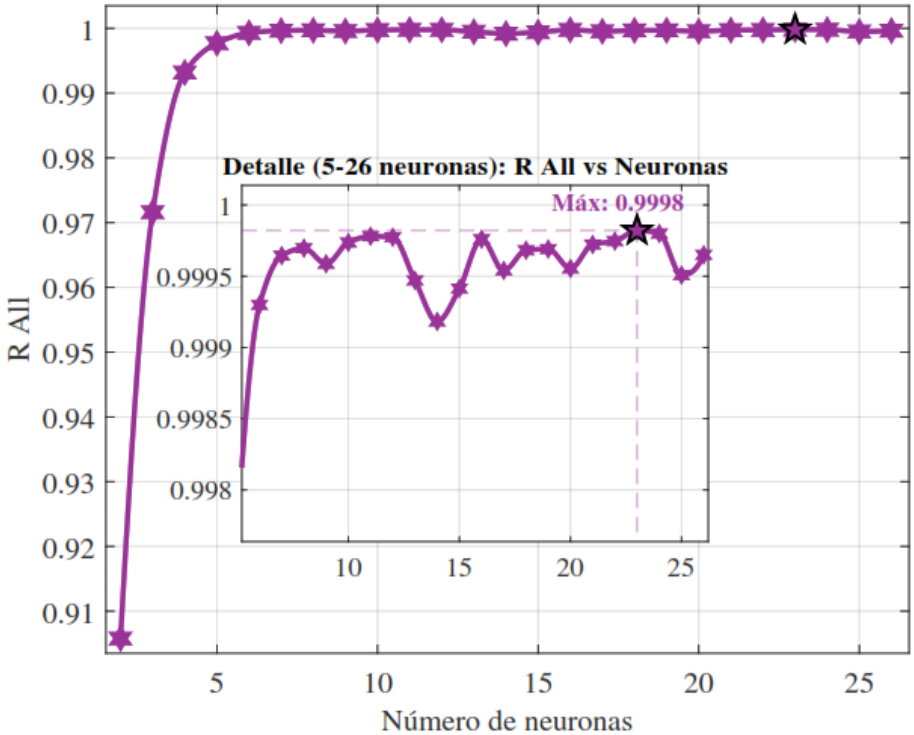
Variación de R_Test vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 33

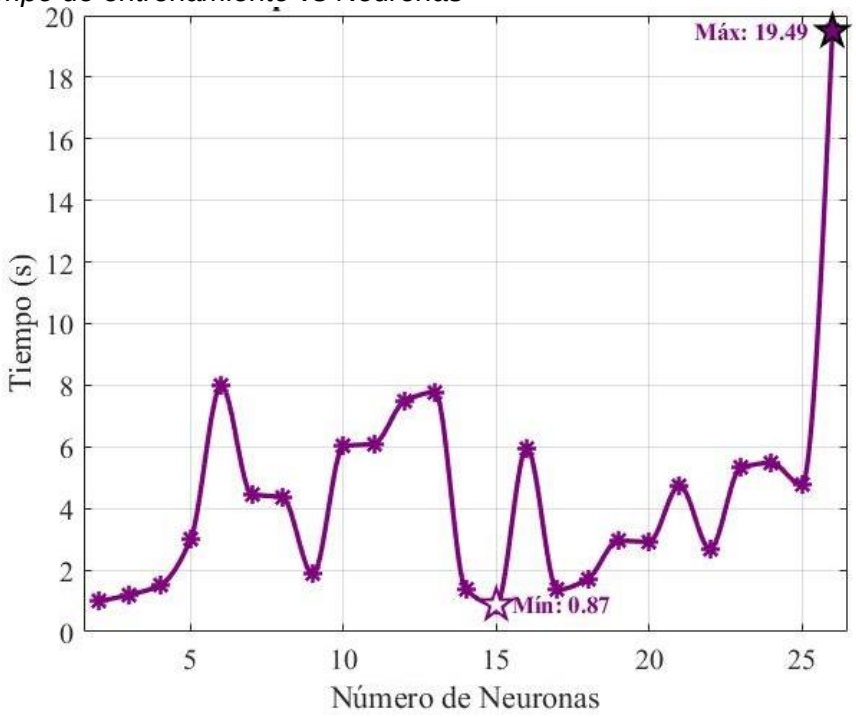
Variación de R_All vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 34

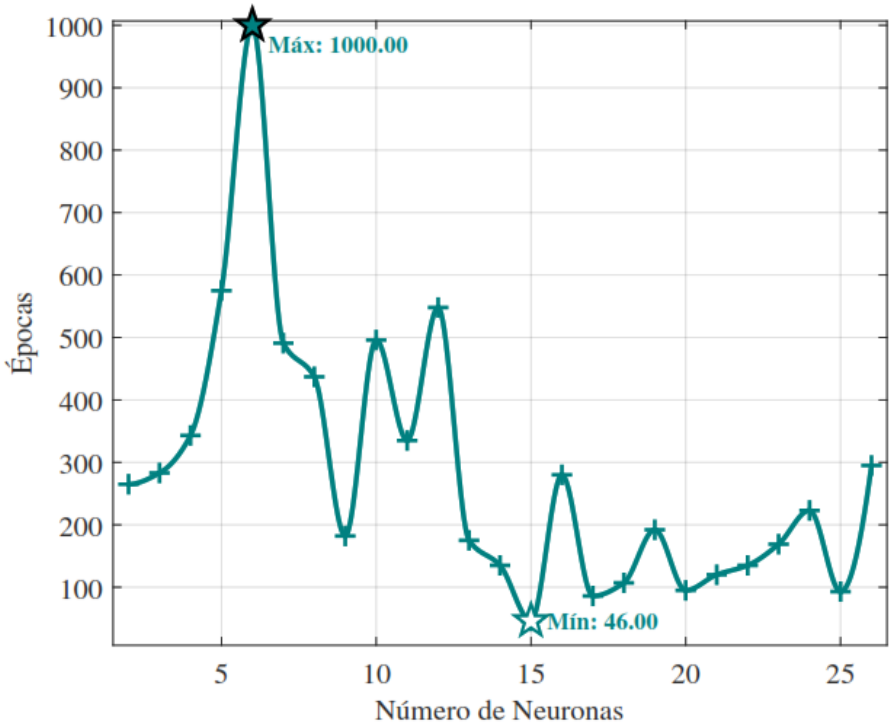
Tiempo de entrenamiento vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 35

Épocas de entrenamiento vs Neuronas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.2.4.1. Configuraciones escogidas del modelo RNA

Las configuraciones elegidas corresponden a las redes neuronales que demostraron un desempeño superior durante la etapa del entrenamiento. Estos resultados se detallan en la **Tabla 22**. Dichas redes serán utilizadas en la fase de validación, destacando por su notable capacidad para prever resultados. Entre todas ellas, la red denominada "Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18" sobresalió por ser la más eficiente, al presentar menores errores cuadráticos medios en comparación con todas las configuraciones entrenadas.

Este modelo cuenta con una arquitectura de dos capas ocultas de 11 y 12 neuronas, respectivamente, y exhibe una estructura de 18-11-12-4 (18 variables de entrada y 4 de salida: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua). Destacó al ofrecer los más destacados indicadores de ajuste y precisión, tales como muestra la siguiente **Tabla 23**:

Tabla 23

Resultados del entrenamiento del modelo de RNA en NeuroMAT Toolbox v1.0

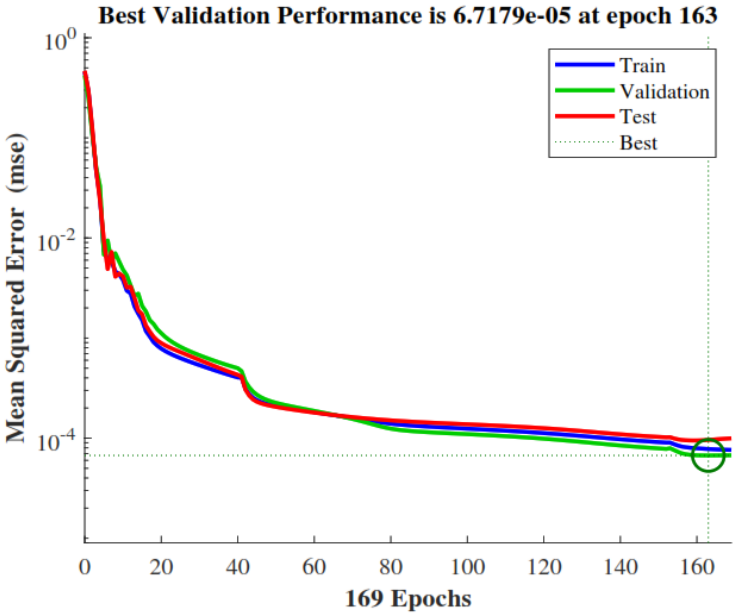
Métrica	Valor	Interpretación resumida
Error Cuadrático Medio (MSE)	0.00007899	Error muy bajo en las predicciones
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0.00888778	Desviación mínima del error
Error Absoluto Medio (MAE)	0.00305806	Alta precisión en las predicciones.
Coeficiente de Correlación (R)	0.99982099	Alta correlación entre predicho y real
Coeficiente de Determinación (R^2)	0.99961923	Ajuste casi perfecto del modelo
Tiempo de entrenamiento	4.577 s	Modelo entrenado de forma eficiente
Número de épocas	169	Buena convergencia del modelo

Nota: La tabla presenta las métricas internas del modelo RNA obtenidas durante su entrenamiento en NeuroMAT Toolbox v1.0, incluyendo indicadores de error, ajuste y eficiencia computacional. El mejor rendimiento de validación es 6.7179e-05 en la época 163

La red neuronal completó su entrenamiento en 4.577 segundos y 169 épocas, demostrando alta eficiencia computacional. Fue la más eficaz entre todas las configuraciones evaluadas. Como se observa en la **Figura 36**, alcanzó un mejor rendimiento de validación de 6.7179×10^{-5} en la época 163, reflejando un rendimiento preciso. Las curvas de entrenamiento, validación y prueba (azul, verde y rojo) se mantuvieron próximas, lo que evidencia una excelente capacidad de generalización y mínima presencia de sobreajuste. El número de épocas confirma su eficiencia frente a otros modelos probados, consolidándola como la red óptima.

Figura 36

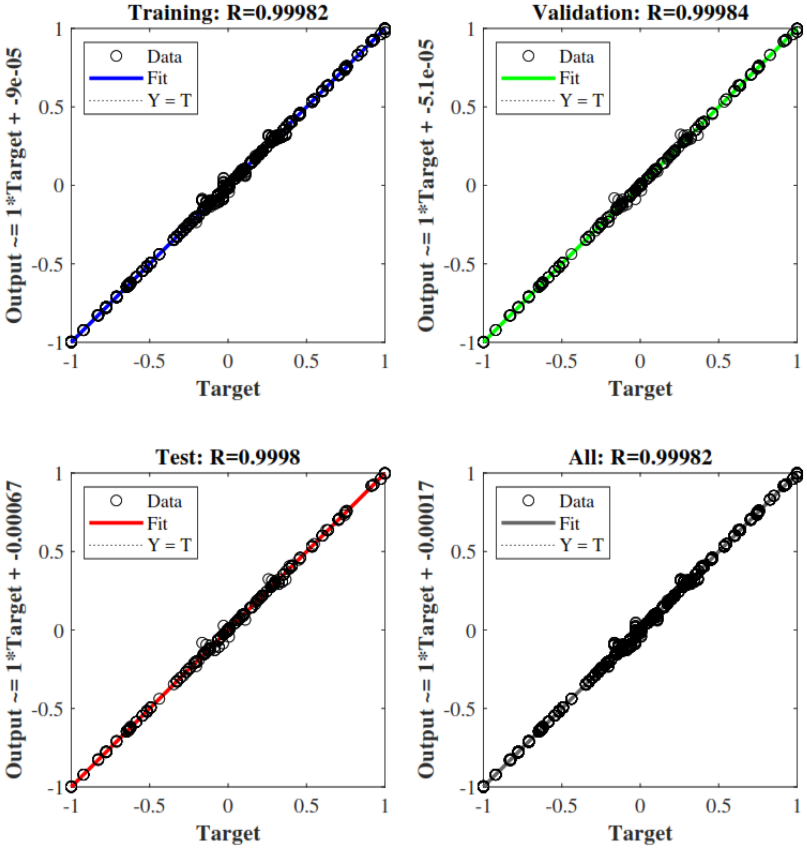
Desempeño del entrenamiento de la red neuronal "Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18" (Error cuadrático medio vs. épocas)



Fuente: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 37

Desempeño de la red neuronal en regresión (época 169)



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

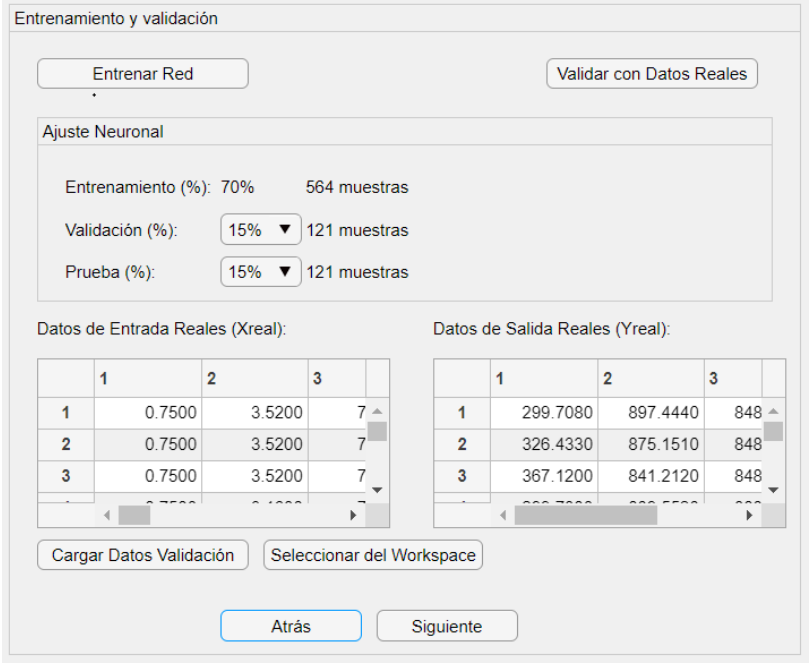
La **Figura 37** evidencia el alto rendimiento del modelo de red neuronal en todas las fases (entrenamiento, validación, prueba y total), con coeficientes de correlación (R > 0.9997) y mínima dispersión respecto a la línea de identidad, reflejando una excelente capacidad predictiva. La coherencia entre fases demuestra ausencia de sobreajuste y buena generalización. La detención temprana en la época 169 optimizó el rendimiento sin afectar la precisión, validando la eficacia del modelo para predecir las variables analizadas.

3.9.2.5. Validación del modelo RNA con muestras reales

Para evaluar la validez del modelo seleccionado *Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18*, se emplearon datos reservados exclusivamente para la etapa de prueba, consistentes en quince series de diseños de mezcla de concreto que no formaron parte del entrenamiento y que fueron obtenidos mediante el procedimiento de la norma ACI 221.1. Estos datos experimentales, detallados en la **Tabla 24**, fueron procesados por la red neuronal en función de los pesos previamente aprendidos, generando como salidas las estimaciones de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua; el procedimiento de validación se ilustró en la **Figura 38**, a través de la pestaña “Validar con Datos Reales” del entorno gráfico NeuroMAT Toolbox en MATLAB, en la cual se ingresaron las variables independientes correspondientes.

Figura 38

Validación con los datos reales: Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

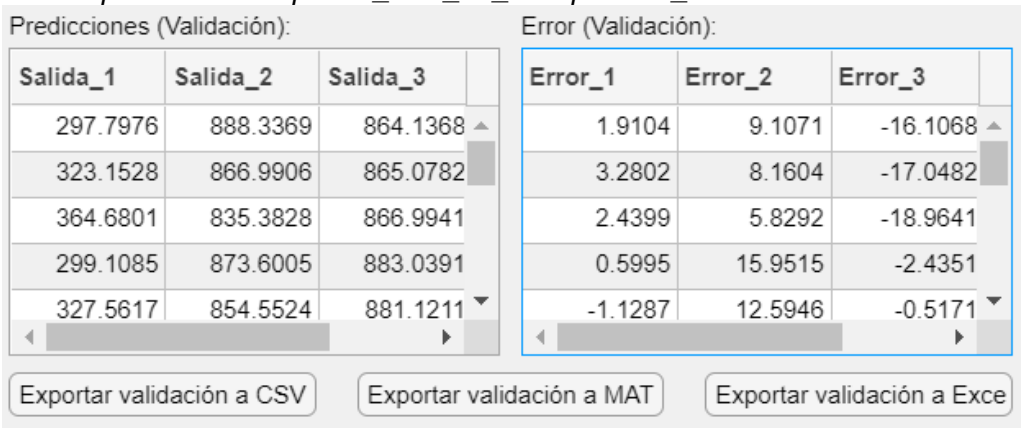
Tabla 24
Datos experimentales para la validación del modelo RNA

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	REAL (ACI 211.1)			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)
Cantera "La Moderna"	MM1	140	299.708	897.444	848.030	206.092
		175	326.433	875.151	848.030	206.266
		210	367.120	841.212	848.030	206.530
	MM2	140	299.708	889.552	880.604	202.169
		175	326.433	867.147	880.604	202.487
		210	367.120	833.037	880.604	202.971
	MM3	140	299.708	890.326	848.302	216.663
		175	326.433	868.403	848.302	216.660
		210	367.120	835.028	848.302	216.657
Cantera "Chillico"	CM1	140	315.789	937.104	704.650	243.416
		175	343.949	914.895	704.650	243.042
		210	386.819	881.085	704.650	242.472
	CM2	140	315.789	1007.228	668.061	233.392
		175	343.949	984.458	668.061	233.199
		210	386.819	949.792	668.061	232.905

Nota: Elaboración propia

Las figuras siguientes presentan las dosificaciones estimadas por las redes neuronales seleccionadas y los respectivos errores de pronóstico, resultado del proceso de validación del modelo. Se muestran los valores previstos para cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Los errores generados durante esta validación con datos no vistos permiten evaluar con claridad la precisión del modelo en la estimación de los materiales que componen el diseño de mezcla de concreto.

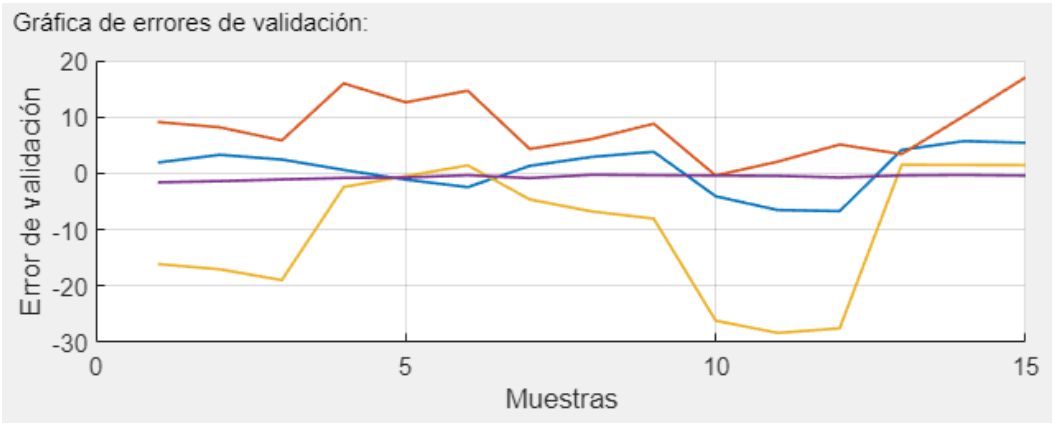
Figura 39
Valores pronosticados por Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 40

Errores de validación



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Tabla 25** muestra el resumen de los pronósticos de las dosificaciones de los materiales que conforman el diseño de mezcla de concreto según la red neuronal artificial seleccionada: “Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18”.

Tabla 25

Dosificaciones de mezcla predichas por el modelo de RNA

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	PRONÓSTICO RNA			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)
Cantera “La Moderna”	MM1	140	297.798	888.337	864.137	207.701
		175	323.153	866.991	865.078	207.656
		210	364.680	835.383	866.994	207.625
	MM2	140	299.109	873.601	883.039	202.990
		175	327.562	854.552	881.121	203.240
		210	369.580	818.376	879.184	203.310
	MM3	140	298.387	885.999	852.950	217.512
		175	323.527	862.334	855.073	216.920
		210	363.301	826.224	856.347	216.995
Cantera “Chillico”	CM1	140	319.874	937.484	730.811	243.821
		175	350.470	912.830	732.990	243.497
		210	393.537	875.978	732.169	243.213
	CM2	140	311.638	1003.826	666.547	233.763
		175	338.243	974.313	666.582	233.498
		210	381.394	932.745	666.601	233.305

Nota: Elaboración propia

3.9.2.5.1. Diseño de las redes neuronales artificiales para la predicción

Tras realizar un exhaustivo análisis en la **Tabla 22**: Selección del modelo RNA, se detecta la configuración de la red neuronal que muestra el rendimiento más destacado en términos

predictivos, utilizando indicadores como el Error Cuadrático Medio (MSE), el coeficiente de correlación (R), el Error Absoluto Medio (MAE) y otros parámetros de ajuste relevantes. Elegido el modelo más prometedor es Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18, se procede a verificar su capacidad de generalización al comparar las predicciones de la red con los datos experimentales obtenidos en laboratorio. Esta comparativa permite evaluar tanto la exactitud cuán próxima están las proyecciones a los valores reales como la precisión, es decir, la consistencia de las estimaciones del modelo frente a diversas muestras.

3.9.2.5.2. Comparación entre valores reales y predichos por el modelo RNA

En la **Tabla 26** se compararon las dosificaciones reales de mezclas de concreto obtenidas en laboratorio con las predichas por el modelo de RNA seleccionado, para muestras de las canteras “La Moderna” y “Chillico” en tres niveles de resistencia (140, 175 y 210 kg/cm²). Los resultados muestran alta concordancia entre los valores reales y pronosticados en cuanto a cemento, agregados y agua. Por ejemplo, en la muestra MM1 (210 kg/cm²), el cemento real fue 367.120 kg/m³ y el estimado 364.680 kg/m³, una diferencia aceptable. En general, las variaciones fueron mínimas, evidenciando la precisión y efectividad del modelo en predecir la dosificación.

Tabla 26

Comparación entre la dosificación real (ACI 211.1) y pronosticada por el modelo de RNA

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	REAL (ACI 211.1)				PRONÓSTICO RNA			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)	Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)
Cantera “La Moderna”	MM1	140	299.708	897.444	848.030	206.092	297.798	888.337	864.137	207.701
		175	326.433	875.151	848.030	206.266	323.153	866.991	865.078	207.656
		210	367.120	841.212	848.030	206.530	364.680	835.383	866.994	207.625
	MM2	140	299.708	889.552	880.604	202.169	299.109	873.601	883.039	202.990
		175	326.433	867.147	880.604	202.487	327.562	854.552	881.121	203.240
		210	367.120	833.037	880.604	202.971	369.580	818.376	879.184	203.310
	MM3	140	299.708	890.326	848.302	216.663	298.387	885.999	852.950	217.512
		175	326.433	868.403	848.302	216.660	323.527	862.334	855.073	216.920
		210	367.120	835.028	848.302	216.657	363.301	826.224	856.347	216.995
Cantera “Chillico”	CM1	140	315.789	937.104	704.650	243.416	319.874	937.484	730.811	243.821
		175	343.949	914.895	704.650	243.042	350.470	912.830	732.990	243.497
		210	386.819	881.085	704.650	242.472	393.537	875.978	732.169	243.213
	CM2	140	315.789	1007.228	668.061	233.392	311.638	1003.826	666.547	233.763
		175	343.949	984.458	668.061	233.199	338.243	974.313	666.582	233.498
		210	386.819	949.792	668.061	232.905	381.394	932.745	666.601	233.305

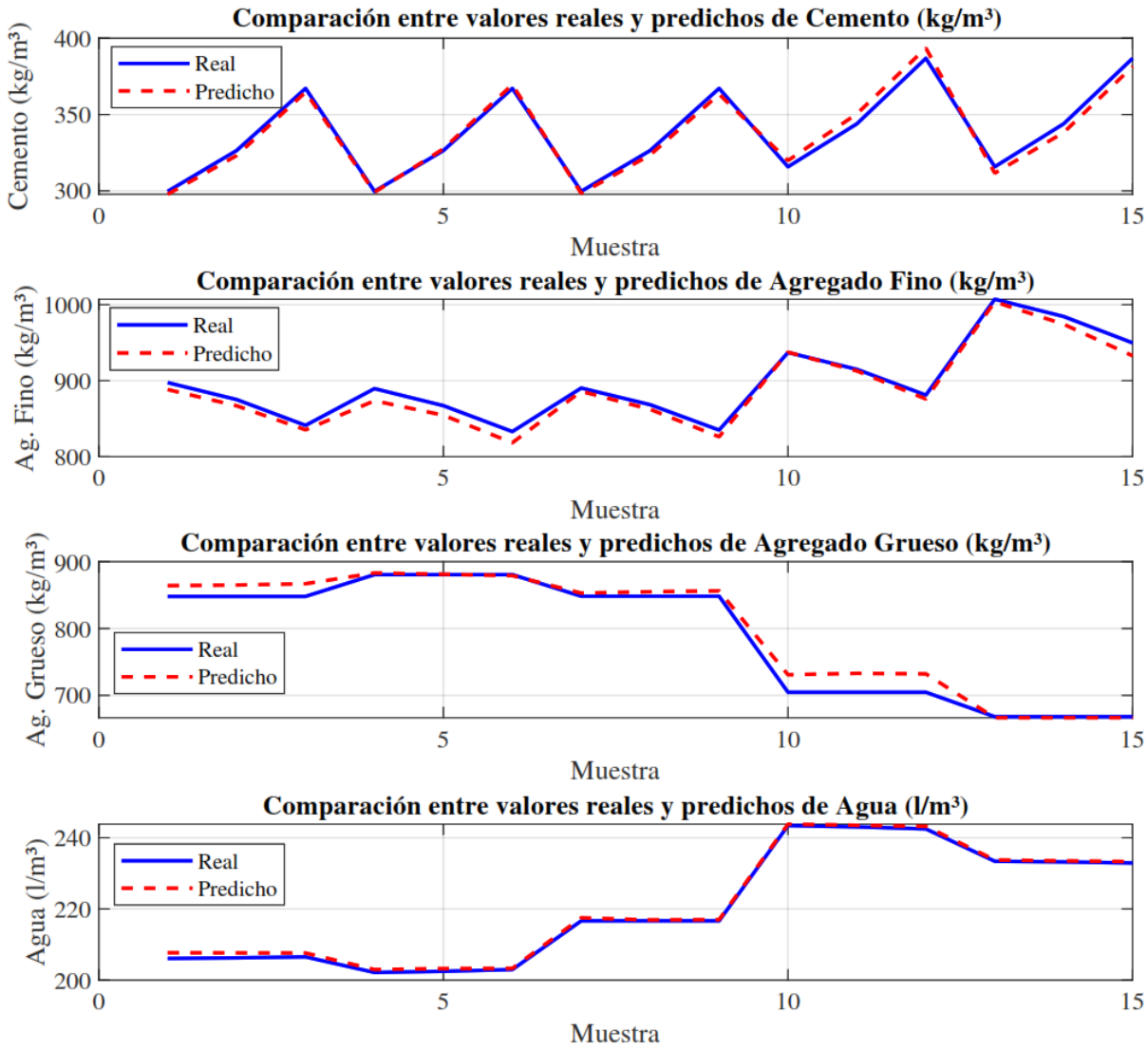
Nota: Elaboración propia

La **Figura 41** compara los valores reales y los pronosticados por la red neuronal artificial (RNA), según la **Tabla 26**. Se analizan las variables clave del diseño de mezcla de concreto: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. La línea azul representa los datos

experimentales (ACI 211.1) y la línea roja discontinua, las predicciones del modelo. Se observa un ajuste adecuado entre ambas curvas, especialmente en cemento y agua. En el caso de los agregados fino y grueso, existen pequeñas discrepancias, aunque la tendencia general se mantiene. Estos resultados validan la precisión y capacidad predictiva de la RNA en el diseño de mezclas de concreto.

Figura 41

Análisis gráfico entre los valores reales (ACI 211.1) y predichos por la RNA



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Para obtener la **Tabla 27** que detalla el análisis del error absoluto (EA) y el error porcentual (EP) entre las mezclas concretas reales y las calculadas por medio del modelo de red neuronal

artificial (RNA) para las muestras originarias de las canteras “La Moderna” y “Chillico”, con resistencias a compresión de 140, 175 y 210 kg/cm² se usaron las siguientes definiciones.

Error

En el contexto del modelado predictivo desarrollado en esta investigación, el error se define como la diferencia entre el valor observado o real y el valor pronosticado por el modelo (Hyndman & Koehler, 2006), ya sea este un modelo estadístico (RLMM) o uno basado en redes neuronales artificiales (RNA). Este error permite cuantificar la discrepancia entre lo obtenido experimentalmente en laboratorio y lo predicho por los modelos, facilitando así una evaluación objetiva de su desempeño.

$$Error = Valor\ Real - Valor\ Predicho \quad (26)$$

Interpretación: Un error positivo indica que el modelo subestimó el valor real (predijo un valor menor), mientras que un error negativo refleja una sobreestimación del modelo (predijo un valor mayor) y error cero es predicción perfecta.

A partir de este cálculo, se derivan métricas más específicas para evaluar el desempeño del modelo:

1. **Error Absoluto (EA)**

Es la diferencia absoluta entre el valor real observado y el valor pronosticado por un modelo predictivo, sin considerar el signo (Willmott & Matsuura, 2005). Coincide con la Diferencia Absoluta.

$$EA = |Valor_{Real} - Valor_{Predicho}| \quad (27)$$

Interpretación: El Error Absoluto mide la desviación entre los valores predichos y reales, en las mismas unidades de la variable. Siempre es positivo y valores menores indican mayor precisión del modelo. Es útil para conocer la magnitud real del error sin necesidad de normalización.

2. **Error Relativo (ER):**

   Es el cociente entre el error absoluto y el valor real. Permite comparar errores en distintas escalas (Armstrong & Collopy, 1992; Willmott & Matsuura, 2005).

$$ER = \frac{|\, Valor_{Real} - Valor_{Predicho} \,|}{Valor_{Real}} = \left(\frac{EA}{Valor_{Real}} \right) \quad (28)$$

Interpretación: Un valor de *ER* más cercano a cero indica un modelo más preciso, y permite interpretar el error en términos relativos (sin unidades). Se usa comúnmente cuando se comparan errores de diferentes magnitudes.

3. Error Relativo Porcentual (ERP%) o Error Porcentual (EP%)

El Error Porcentual (EP%) expresa el error relativo en términos porcentuales, facilitando la interpretación y comparación de errores (Tofallis, 2015).

$$EP\% = \frac{|\, Valor_{Real} - Valor_{Predicho} \,|}{Valor_{Real}} \times 100 = \left(\frac{EA}{Valor_{Real}} \right) \times 100 \quad (29)$$

Interpretación: Indica el porcentaje en que la predicción difiere del valor real; valores más bajos indican mayor precisión (Tofallis, 2015).

Evaluar la precisión de múltiples predicciones, se requiere un método de agregación. Si adoptamos la media aritmética, utilizaremos el error porcentual absoluto medio (MAPE) (Tofallis, 2015).

4. Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) o Error porcentual promedio

El error relativo porcentual promedio (MAPE) es una medida del tamaño del error en términos porcentuales, lo cual facilita su interpretación en contextos aplicados (Kolassa & Schütz, 2007).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{|\, Valor_{Real_i} - Valor_{Predicho_i} \,|}{Valor_{Real_i}} \right) \times 100 \quad (30)$$

En su artículo Armstrong & Collopy (1992), se discute el uso del MAPE como criterio de evaluación y comparación entre modelos predictivos, incluyendo redes neuronales.

5. Mejora porcentual entre modelos (Δ%)

La mejora porcentual entre modelos permite evaluar cuánto mejora un modelo frente a otro (por ejemplo, RNA vs RLMM) para determinar la mejora o deterioro relativo de uno respecto al otro, tomando como base el modelo tradicional. Esta métrica compara el rendimiento de dos modelos predictivos, expresando la diferencia en términos porcentuales respecto al modelo de referencia (Hyndman & Koehler, 2006).

$$Mejora\ (\%) = \left(\frac{Métrica_{\text{RLMM}} - Métrica_{\text{RNA}}}{Métrica_{\text{RLMM}}} \right) \times 100 \qquad (31)$$

Interpretación: Un valor negativo de la mejora porcentual evidencia que el modelo de RNA presenta mayor error que el modelo de RLMM, reduciendo su utilidad. En contraste, un valor positivo refleja una disminución del error, confirmando que el modelo RNA es más preciso y adecuado.

Con base en los cálculos detallados en la **Tabla 27**, se observa que el modelo de red neuronal artificial (RNA) presenta un alto nivel de precisión. Los errores absolutos y porcentuales son generalmente bajos, destacando el agregado grueso con el mayor error porcentual (4.02%), aunque el promedio global de error entre todos los componentes es inferior al 1.5%. En cuanto al Error Cuadrático Medio (MSE), el mayor valor se presenta en el agregado grueso (220.10), seguido por el agregado fino (92.01), lo que indica desviaciones mínimas dentro de márgenes aceptables.

Tabla 27

Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones reales y pronosticadas por el modelo de RNA

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	ERROR ABSOLUTO (EA)				ERROR PORCENTUAL (EP) (%)			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)	Error_1 (%) Cemento	Error_2 (%) Agregado Fino	Error_3 (%) Agregado Grueso	Error_4 (%) Agua
Cantera "La Moderna"	MM1	140	1.910	9.107	16.107	1.609	0.64%	1.01%	1.90%	0.78%
		175	3.280	8.160	17.049	1.391	1.00%	0.93%	2.01%	0.67%
		210	2.440	5.829	18.965	1.095	0.66%	0.69%	2.24%	0.53%
	MM2	140	0.599	15.952	2.435	0.821	0.20%	1.79%	0.28%	0.41%
		175	1.129	12.595	0.517	0.753	0.35%	1.45%	0.06%	0.37%
		210	2.460	14.661	1.420	0.338	0.67%	1.76%	0.16%	0.17%
	MM3	140	1.320	4.326	4.648	0.849	0.44%	0.49%	0.55%	0.39%
		175	2.906	6.070	6.771	0.259	0.89%	0.70%	0.80%	0.12%
		210	3.820	8.804	8.045	0.338	1.04%	1.05%	0.95%	0.16%
Cantera "Chillico"	CM1	140	4.084	0.380	26.161	0.405	1.29%	0.04%	3.71%	0.17%
		175	6.521	2.065	28.339	0.455	1.90%	0.23%	4.02%	0.19%
		210	6.718	5.107	27.519	0.741	1.74%	0.58%	3.91%	0.31%
	CM2	140	4.151	3.402	1.514	0.370	1.31%	0.34%	0.23%	0.16%
		175	5.706	10.145	1.479	0.298	1.66%	1.03%	0.22%	0.13%
		210	5.426	17.047	1.460	0.400	1.40%	1.79%	0.22%	0.17%
			ERROR PORCENTUAL PROMEDIO (MAPE)				1.01%	0.93%	1.42%	0.31%
			ERROR CUADRÁTICO MEDIO (MSE)				15.76	92.01	220.10	0.62
			ERROR PORCENTUAL MÁXIMO				4.02%			

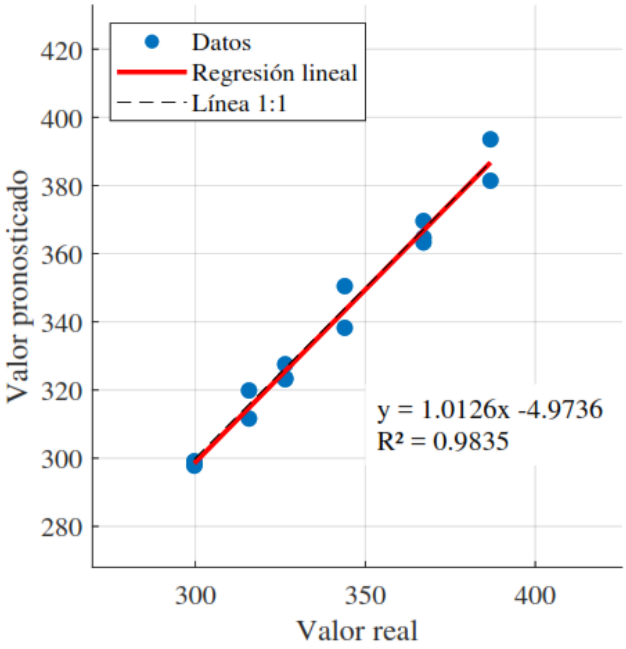
Nota: Elaboración propia

La **Figura 42** presenta la relación entre los valores reales y los valores pronosticados de la variable evaluada mediante el modelo propuesto. Los círculos azules representan las

predicciones frente a los valores reales, mientras que la línea roja indica la regresión lineal ajustada entre ambas variables, y la línea punteada simboliza la predicción ideal o perfecta (línea 1:1). Se observa que la mayoría de los puntos se alinean estrechamente a la línea 1:1, evidenciando una alta precisión del modelo. La ecuación de la regresión es y = 1.0126x − 4.9736, donde el coeficiente de pendiente ligeramente superior a la unidad (1.0126) indica una leve sobreestimación en los valores más altos, mientras que el intercepto negativo sugiere una mínima subestimación en valores bajos. El coeficiente de determinación R^2 = 0.9835 indica que el modelo logra explicar el 98.35 % de la variabilidad observada en los datos reales, reflejando una calidad de ajuste sobresaliente y una capacidad predictiva excepcional del modelo propuesto.

Figura 42

Comparación real vs pronóstico-cemento (kg/m³) con el modelo de RNA



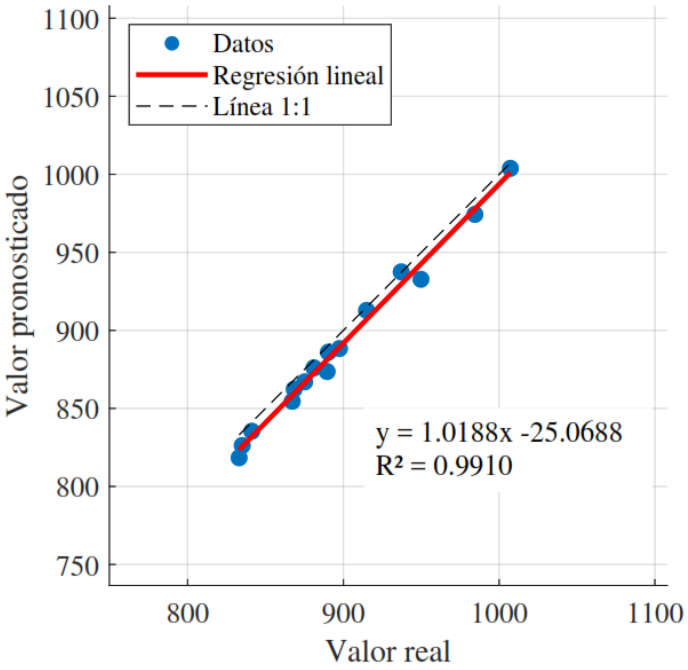
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 43** representa la relación entre los valores reales y estimados del contenido de agregado fino (kg/m³), generados por el modelo de red neuronal artificial (RNA). Los puntos azules reflejan las predicciones del modelo frente a los valores observados, mientras que la línea roja corresponde a la regresión lineal ajustada y la línea punteada indica la referencia ideal de predicción perfecta (línea 1:1). Se advierte que los puntos se alinean estrechamente a la línea ideal, lo que denota un alto grado de precisión en las estimaciones realizadas. La ecuación de la regresión es y = 1.0188x − 25.0688, donde el coeficiente de pendiente (1.0188)

indica una ligera sobreestimación en los valores altos de agregado fino, mientras que el intercepto negativo refleja una leve subestimación en valores bajos. El coeficiente de determinación R^2 = 0.9910 revela que el modelo explica el 99.10 % de la variabilidad en los datos reales, lo cual evidencia un ajuste sobresaliente y una elevada capacidad predictiva del modelo respecto al contenido de agregado fino.

Figura 43

Comparación real vs pronóstico-agregado fino (kg/m³) con el modelo de RNA



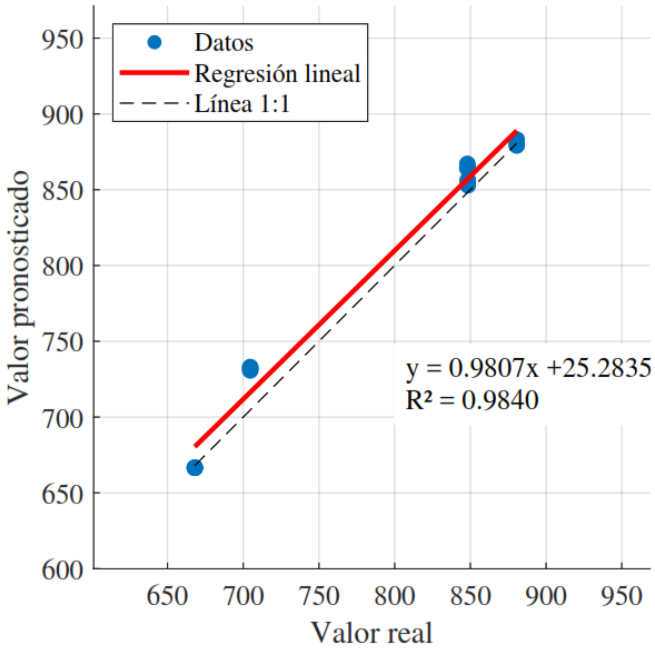
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 44** muestra la relación entre los valores reales y pronosticados del contenido de agregado grueso (kg/m³) obtenidos mediante el modelo de red neuronal artificial. Los círculos azules representan los datos proyectados frente a los reales, la línea roja corresponde a la regresión lineal ajustada, y la línea punteada simboliza la predicción perfecta (línea 1:1). Se aprecia que la mayoría de los puntos se distribuyen muy próximos a esta línea ideal, evidenciando una precisión notable en las estimaciones del modelo. La ecuación de regresión es y = 0.9807x + 25.2835, donde la pendiente inferior a la unidad (0.9807) revela una ligera subestimación en los valores altos del agregado grueso, mientras que el intercepto positivo sugiere una leve sobreestimación en valores bajos. El coeficiente de determinación R^2 = 0.9840 indica que el modelo es capaz de explicar el 98.40 % de la variabilidad presente en los

datos reales, lo que reafirma su elevada capacidad predictiva y un ajuste altamente satisfactorio para esta variable.

Figura 44

Comparación real vs pronóstico-agregado grueso (kg/m³) con el modelo de RNA

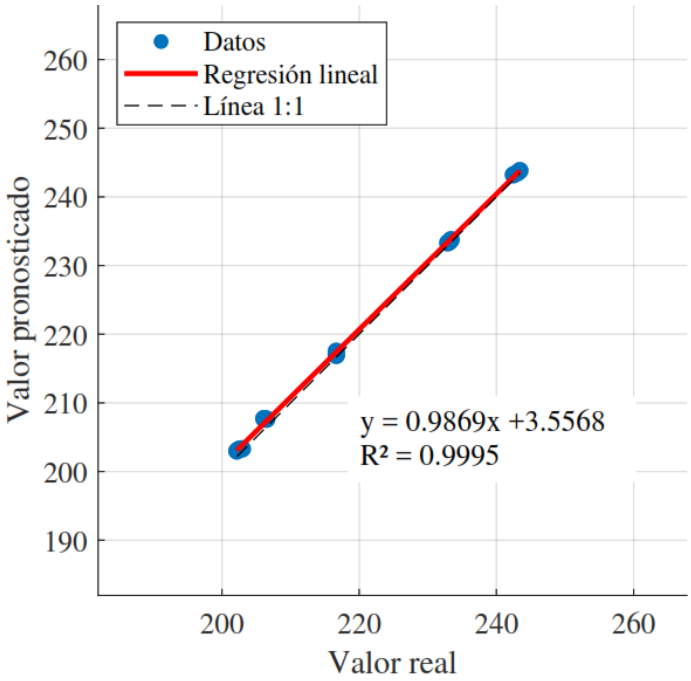


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 45** muestra la correspondencia entre los valores reales y estimados del contenido de agua (kg/m³), generados mediante el modelo de red neuronal artificial (RNA). Los puntos azules representan los datos predichos en relación con los valores reales, la línea roja ilustra la regresión lineal ajustada, y la línea punteada simboliza la línea de predicción perfecta (línea 1:1). Se observa que los puntos se alinean estrechamente sobre dicha línea ideal, lo que evidencia una elevada concordancia entre las predicciones y los valores observados. La ecuación de la regresión es $y = 0.9869x + 3.5568$, donde la pendiente próxima a uno refleja un comportamiento casi ideal, aunque con una ligera subestimación en valores altos, compensada parcialmente por el intercepto positivo. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.9995$ indica que el modelo explica el 99.95 % de la variabilidad en los datos reales, lo que confirma una capacidad predictiva excepcional y un ajuste casi perfecto del modelo para estimar el contenido de agua en las mezclas de concreto.

Figura 45

Comparación real vs pronóstico-agua (l/m³) con el modelo de RNA



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Tabla 28** expone los parámetros estadísticos del modelo RNA para predecir materiales en mezclas de concreto, incluyendo ecuaciones de ajuste lineal, pendiente, intercepto y R^2. La **Figura 46** complementa con un gráfico de barras que muestra la precisión y el nivel de ajuste alcanzado en cada variable.

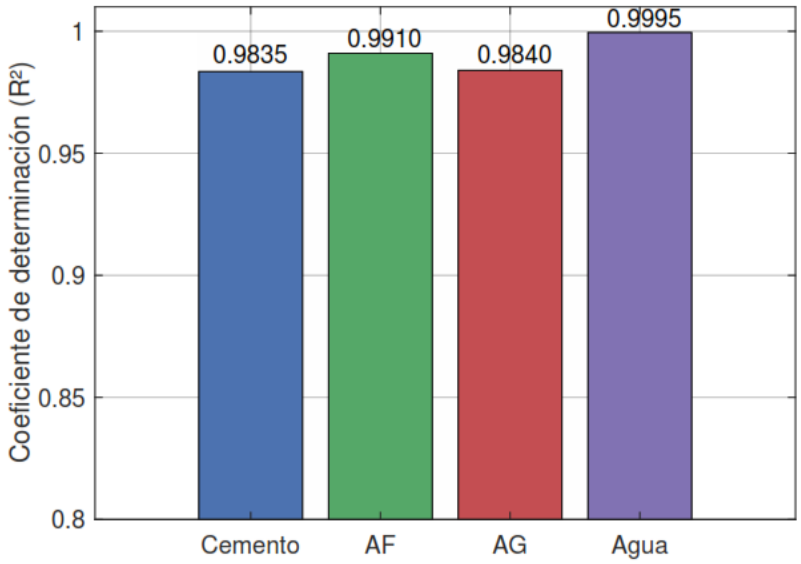
Tabla 28

Desempeño del modelo RNA en la predicción de materiales del concreto

Variable	Ecuación de regresión	Pendiente	Intercepto	Coeficiente de determinación (R^2)	Interpretación clave
Cemento (kg/m³)	$y = 1.0126x - 4.9736$	1.0126	−4.9736	0.9835	Ajuste excelente; leve sobreestimación en valores altos y mínima desviación baja.
Agregado fino (kg/m³)	$y = 1.0188x - 25.0688$	1.0188	−25.0688	0.9910	Ajuste sobresaliente; ligera sobreestimación en valores altos.
Agregado grueso (kg/m³)	$y = 0.9807x + 25.2835$	0.9807	25.2835	0.9840	Alta precisión; leve subestimación en valores altos, compensada por el intercepto.
Agua (kg/m³)	$y = 0.9869x + 3.5568$	0.9869	3.5568	0.9995	Ajuste casi perfecto; excelente concordancia con los valores reales.
				Promedio: 0.9895	Desempeño global excelente del modelo RNA.

Figura 46

Comparación de R^2 por variable en el modelo RNA



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.2.6. Interpretación de resultados obtenidos mediante RNA

El modelo de red neuronal artificial (RNA) mostró alta precisión y confiabilidad en la predicción de los componentes del concreto, con coeficientes de determinación R^2 superiores al 98 % y hasta 99.95 % en el contenido de agua. Su capacidad para modelar relaciones complejas, junto con una base de datos sólida, garantizó estabilidad y eficiencia.

3.9.3. Regresión lineal múltiple para el modelado estadístico

Para el análisis estadístico se empleará la Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM), una metodología que posibilita examinar múltiples variables dependientes de manera simultánea en relación con predictores comunes. El marco teórico está fundamentado en autores como (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017) quienes exploran el análisis multivariado, los supuestos estadísticos y la interpretación de los resultados en modelos complejos de regresión.

3.9.3.1. Selección de variables independientes y dependientes

Para llevar a cabo el modelado estadístico utilizando regresión lineal múltiple multivariante (RLMM), se tomaron en cuenta las mismas variables empleadas en el modelo de redes neuronales artificiales, con el propósito de garantizar una comparación coherente. Estas variables, que ya se han presentado en la **Tabla 2**, se describen de la siguiente forma:

- **Variables independientes (18 variables de entrada):**

- **Propiedades físicas de los agregados**

- *Granulométricas:* TMN *(Tamaño Máximo Nominal)*, $mf\ AF, mf\ AG.$
- *Volumétricas:* $Pus\ AF, Pus\ AG, Pusc\ AF, Pusc\ AG, Pem\ AF, Pem\ AG.$
- *Absorción y humedad*: $Abs\ AF, Abs\ AG, Ch\ AF, Ch\ AG.$
- *Parámetros de diseño y resistencia*:
  $a/c\ D$ (relación agua-cemento de diseño), E (edad de ensayo), $f'c$ (resistencia de diseño), fc (resistencia real).
- *Propiedad del cemento*:
  Pec (peso específico del cemento).

- **Variables dependientes (4 variables de salida – Dosificación de materiales):**
  C (cemento), AF (agregado fino), AG (agregado grueso) y A (agua).

3.9.3.2. Aplicación del modelo de regresión lineal multivariante

Para crear el modelo estadístico de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM), se tuvo en cuenta la predicción simultánea de las cuatro variables de salida: cemento (C), agregado fino (AF) y agregado grueso (AG) y agua (A), a partir de las 18 variables de entrada definidas previamente.

Este tipo de modelado multivariante permite establecer relaciones lineales entre múltiples variables independientes y múltiples variables dependientes en un único análisis, teniendo en cuenta las interrelaciones entre las respuestas.

3.9.3.2.1. Estructura general del modelo RLMM

El modelo multivariante se representa matemáticamente por la siguiente expresión matricial:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{X}.\boldsymbol{B} + \boldsymbol{E} \qquad (32)$$

Donde:

- **Y**: Matriz de variables dependientes de dimensión *n×4*, que contiene los valores observados de Cemento (C), Agregado Fino (AF), Agregado Grueso (AG) y Agua (A).
- **X**: Matriz de variables independientes de dimensión *n×19*, que incluye una columna de unos (para el término independiente) y las 18 variables predictoras: $TMN, mf\ AF, mf\ AG, Pus\ AF, Pus\ AG, Pusc\ AF, Pusc\ AG, Pec, Pem\ AF, Pem\ AG, Abs\ AF, Abs\ AG, Ch\ AF, Ch\ AG, a/c\ D, E, f'c, fc.$

- **B**: Matriz de coeficientes de regresión de dimensión *19×4*, que contiene los parámetros estimados del modelo para cada variable dependiente.
- **E**: Matriz de residuos aleatorios o errores no explicados por el modelo.

3.9.3.2.2. Estimación de coeficientes mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

Para estimar la matriz de coeficientes ***B***, se aplicó el método clásico de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), el cual busca minimizar la suma de los errores cuadráticos entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Matemáticamente, el estimador de ***B*** se obtiene con la siguiente expresión (Joaquin & Ezequiel, 2017):

$$\boldsymbol{B} = \left(\boldsymbol{X^T} \cdot \boldsymbol{X}\right)^{-1} \cdot \boldsymbol{X^T} \cdot \boldsymbol{Y} \qquad (33)$$

Este estimador asegura que se logren los coeficientes que más se adaptan a las observaciones realizadas, bajo el supuesto de que los errores sean lineales y normales.

3.9.3.2.3. Implementación del modelo multivariante en lenguaje RStudio

Para implementar el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM), se recurrió al uso del software estadístico RStudio, el cual permite ajustar modelos de regresión multivariantes de manera eficiente. A continuación, se muestra el fragmento de código utilizado para ajustar el modelo se adaptó de (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017):

```
# Ajuste del modelo RLMM con 4 variables dependientes
modelo<-lm(cbind(y1,y2,y3,y4) ~
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18, data=datos)
# Visualización del resumen del modelo
summary(modelo)
```

Donde:

- `y1`, `y2`, `y3`, `y4` representan las variables respuesta: cemento (*C*), agregado fino (*AF*), agregado grueso (*AG*), y agua (*A*).
- `x1` a `x18` corresponden a las 18 variables independientes descritas anteriormente (*TMN, mfAF, mfAG*, etc.).
- La función `lm()` con `cbind()` permite realizar un ajuste multivariante, es decir, una estimación conjunta de las múltiples regresiones lineales con los mismos predictores.

- La función `summary(modelo)` proporciona los coeficientes estimados, errores estándar, valores t, p y el R^2 individual para cada variable dependiente, permitiendo evaluar la significancia de los predictores y la calidad del ajuste del modelo.

3.9.3.2.4. Ecuaciones obtenidas del modelo RLMM

Como resultado del modelado efectuado, se derivaron cuatro fórmulas de regresión, una por cada variable de salida. Estas ecuaciones presentan la siguiente estructura general:

- Para la predicción del contenido de cemento ($\hat{C}$):

$$\hat{C} = \beta_{0C} + \beta_{1C} \cdot x_1 + \beta_{2C} \cdot x_2 + \ldots + \beta_{18C} \cdot x_{18} + \epsilon_1 \quad (34)$$

- Para la predicción del contenido de agregado fino ($\hat{A}F$):

$$\hat{A}F = \beta_{0AF} + \beta_{1AF} \cdot x_1 + \beta_{2AF} \cdot x_2 + \ldots + \beta_{18AF} \cdot x_{18} + \epsilon_2 \quad (35)$$

- Para la predicción del contenido de agregado grueso ($\hat{A}G$):

$$\hat{A}G = \beta_{0AG} + \beta_{1AG} \cdot x_1 + \beta_{2AG} \cdot x_2 + \ldots + \beta_{18AG} \cdot x_{18} + \epsilon_3 \quad (36)$$

- Para la predicción del contenido de agua ($\hat{A}$):

$$\hat{A} = \beta_{0A} + \beta_{1A} \cdot x_1 + \beta_{2A} \cdot x_2 + \ldots + \beta_{18A} \cdot x_{18} + \epsilon_4 \quad (37)$$

(Nota: Los coeficientes **β_i** serán reemplazados por los valores estimados en la ejecución práctica del modelo en el software RStudio).

Las ecuaciones estimadas del modelo multivariante, de forma simplificada, son las siguientes:

- Para y_1 (Contenido de cemento en kg/m³):

$$\hat{y}_1 = 134.627 - 56.544x_1 - 11.528x_2 - 32.005x_3 - 0.317x_4 + \cdots + 0.057x_{18} + \epsilon_1 \quad (38)$$

- Para y_2 (Agregado fino en kg/m³):

$$\hat{y}_2 = 609.987 + 14.300x_1 + 156.510x_2 - 44.252x_3 + 0.068x_4 + \cdots - 0.064x_{18} + \epsilon_2 \quad (39)$$

- Para y_3 (Agregado grueso en kg/m³):

$$\hat{y}_3 = 601.500 + 239.088x_1 - 163.822x_2 + 25.304x_3 + 0.137x_4 + \cdots + 0.044x_{18} + \epsilon_3 \quad (40)$$

- Para y_4 (Contenido de agua en kg/m³):

$$\hat{y}_4 = 576.403 - 38.209x_1 - 3.879x_2 + 1.841x_3 - 0.081x_4 + \cdots + 0.002x_{18} + \epsilon_4 \quad (41)$$

Estas ecuaciones permiten predecir las cantidades de materiales requeridas para el diseño de mezcla de concreto a partir de las propiedades físico-mecánicas de los materiales y los parámetros de diseño. Los resultados obtenidos servirán para comparar el desempeño del modelo estadístico frente al modelo de redes neuronales artificiales desarrollado previamente.

Con matriz de coeficientes estimados (β)

A continuación, se presenta la matriz de coeficientes estimados del modelo, incluyendo la constante (intercepto):

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \text{Cem.} & \text{Ag. Fino} & \text{Ag. Grueso} & \text{Agua} \\ 134.627 & 609.987 & 601.500 & 576.403 \\ -56.544 & 14.300 & 239.088 & -38.209 \\ -11.528 & 156.510 & -163.822 & -3.879 \\ -32.005 & -44.252 & 25.304 & 1.841 \\ -0.317 & 0.068 & 0.137 & -0.081 \\ 0.018 & -0.015 & -0.224 & 0.068 \\ 0.296 & 0.139 & -0.245 & 0.087 \\ -0.125 & -0.036 & -0.181 & -0.041 \\ -0.067 & -0.010 & 0.033 & -0.011 \\ -0.015 & -0.023 & -0.075 & -0.024 \\ 0.008 & -0.002 & 0.029 & -0.004 \\ 0.038 & -0.019 & 0.007 & -0.003 \\ 0.042 & -0.008 & 0.003 & 0.005 \\ -0.014 & -0.007 & -0.014 & -0.006 \\ -0.043 & -0.031 & -0.025 & -0.012 \\ 0.066 & -0.030 & -0.023 & -0.007 \\ -0.022 & 0.001 & 0.038 & 0.006 \\ 0.010 & 0.021 & -0.016 & -0.002 \\ 0.057 & -0.064 & 0.044 & 0.002 \end{bmatrix}$$

3.9.3.3. Evaluación del Modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM)

Una vez que se ajusta el modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM), es crucial realizar una evaluación estadística exhaustiva para validar su adecuación, tanto en términos de ajuste global como individual, así como verificar el cumplimiento de los supuestos del modelo y su potencial predictivo. Este análisis es clave para determinar la relevancia del modelo como herramienta para prever las dosificaciones de mezcla de concreto, teniendo en cuenta las condiciones específicas de la ciudad de Ayacucho.

Los cálculos correspondientes fueron efectuados utilizando el software estadístico RStudio, y se detallan minuciosamente en el **Anexo H**.

3.9.3.3.1. Evaluación del ajuste global del modelo de RLMM

Para evaluar el ajuste global del RLMM se utilizaron indicadores multivariantes estándar: coeficiente de determinación múltiple (R^2), R^2 ajustado, error cuadrático medio (MSE) y raíz del error cuadrático medio (RMSE). Estos indicadores permiten medir la capacidad explicativa del modelo en relación con cada variable dependiente (y_1, y_2, y_3, y_4).

Tabla 29

Métricas de bondad de ajuste por variable de salida – RLMM

Variable	R^2	R^2 Ajustado	MSE	RMSE	Interpretación	Ajuste
y_1 (Cemento)	0.8418	0.8382	336.25	18.34	Excelente capacidad predictiva	Muy buen ajuste
y_2 (Ag. fino)	0.9069	0.9047	554.34	23.54	Ajuste sobresaliente	Excelente ajuste
y_3 (Ag. grueso)	0.9710	0.9703	206.81	14.38	Casi toda la varianza explicada	Muy alto
y_4 (Agua)	0.9968	0.9967	2.52	1.59	Modelo prácticamente perfecto	Excelente
Promedio	0.9291	0.9275	274.98	14.46		Bueno

Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025).

Esta tabla muestra que todos los valores de R^2 fueron estadísticamente significativos ($p < .001$).

Interpretación:

Los valores de R^2 y R^2 ajustado revelan un alto grado de concordancia entre los valores observados y los predichos para todas las variables dependientes, destacando especialmente y_4 (agua) con un R^2 de 99.68%, lo que sugiere una capacidad predictiva casi impecable. Además, los valores reducidos de RMSE, particularmente el 1.59 en y_4, exhiben errores mínimos en la predicción frente a la diversidad de los datos. Conjuntamente, estos indicadores ratifican la precisión y fiabilidad del modelo RLMM. Asimismo, el modelo revela una capacidad explicativa conjunta sumamente alta en y_3 y y_4, lo que indica una fuerte correlación entre las variables independientes (x_1 a x_{18}) y las características del concreto, corroborando el uso del RLMM como una herramienta predictiva robusta.

3.9.3.3.2. Contraste estadístico del modelo

Con el objetivo de validar la significancia estadística del modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM) sugerido, se llevaron a cabo dos escalas de análisis estadístico: (i) un ANOVA independiente por cada variable dependiente, y (ii) una prueba multivariada MANOVA, que examina de forma simultánea cómo las variables independientes impactan el conjunto de variables de salida. A continuación, se describen estos procedimientos con más detalle.

A) ANOVA individual y análisis de significancia por variable dependiente (y_1, y_2, y_3, y_4)

Para cada variable dependiente y_1: Cemento (kg/m³), y_2: Agregado fino (kg/m³), y_3: Agregado grueso (kg/m³), y_4: Agua (l/m³) se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) individual, con el fin de contrastar la hipótesis nula que indica que los coeficientes de regresión para todas las variables independientes son iguales a cero.

Hipótesis del ANOVA individual:

- **Hipótesis nula (H_0):** Todos los coeficientes de regresión son iguales a cero ($\beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_{18} = 0$), es decir, el modelo no tiene capacidad predictiva.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** Al menos un coeficiente de regresión es distinto de cero ($\exists\ \beta_j \neq 0$), indicando que el modelo es significativo.

Tabla 30

Resultados de ANOVA para cada variable respuesta del modelo de RLMM

Variable Dependiente	Estadístico F de Fisher	Grados de libertad (gl)	p-valor	R^2	Conclusión	Variables predictoras significativas (p < 0.05) principales	Significancia global
y_1 (Cemento)	232.6	(18, 787)	<0.001	0.842	Rechaza H_0	x1, x3, x4, x6, x9, x11, x12, x13, x16, x17, x18	p < 2.2e-16
y_2 (Ag. fino)	425.7	(18, 787)	<0.001	0.907	Rechaza H_0	x2, x3, x6, x7, x8, x9, x10, x11, x12, x13, x14, x17, x18	p < 2.2e-16
y_3 (Ag. grueso)	1463	(18, 787)	<0.001	0.971	Rechaza H_0	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x10, x11, x12, x13, x17, x18	p < 2.2e-16
y_4 (Agua)	13700	(18, 787)	<0.001	0.997	Rechaza H_0	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x11, x12, x13, x14 y x17	p < 2.2e-16

Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025).

Interpretación:

El modelo mostró validez estadística sólida, con valores F entre 232.6 y 13,700 y p-valores < 0.001, lo que permitió rechazar la hipótesis nula con un 99.9 % de confianza. Esto confirma relaciones significativas entre predictores y respuestas, respaldando la robustez del modelo RLMM en el diseño de mezclas de concreto.

B) Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

Con el fin de evaluar la significancia global del modelo considerando las cuatro variables de salida simultáneamente (y_1, y_2, y_3, y_4), se realizó una prueba multivariante MANOVA (Análisis Multivariado de la Varianza). Este análisis permite contrastar si al menos uno de los coeficientes de regresión asociados a las variables independientes (x_1 a x_{18}) tiene un efecto significativo sobre alguna combinación lineal de las variables dependientes.

Hipótesis de la prueba MANOVA:

- **Hipótesis nula (H_0):** $\beta = 0$ (ninguna de las variables independientes tiene efecto sobre las dependientes).
- **Hipótesis alternativa (H_1):** $\beta \neq 0$ para al menos un coeficiente βjk, donde j = 0, 1, ..., 18 y k = 1, 2, …,4 (es decir, al menos una de las variables independientes tiene un efecto significativo sobre las variables dependientes).

Para contrastar estas hipótesis, se utilizaron las estadísticas multivariantes comúnmente aceptadas (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017):

- Lambda de Wilks (Λ): Cuantifica la proporción de varianza no explicada por el modelo. Valores cercanos a 0 indican un modelo predictivo fuerte.
- Trazo de Pillai (V): Indica cuánta variabilidad explicada es atribuible al modelo. Valores más altos son mejores.
- Trazo de Hotelling-Lawley (U): Sensible a grandes diferencias, similar a Pillai.
- Raíz mayor de Roy o estadístico de Roy (θ): Evalúa el mayor efecto individual del modelo; sensible a una sola variable con alto impacto.

A partir del modelo multivariante ajustado mediante la función manova() en RStudio, se realizaron las cuatro pruebas estadísticas mencionadas para evaluar la significancia global de las variables independientes sobre las cuatro respuestas (y_1 , y_2 , y_3 , y_4). Los resultados se muestran en el **Anexo H.**

Tabla 31

Pruebas multivariadas MANOVA utilizadas para evaluar la significancia global del modelo de RLMM

Prueba Multivariada	Estadístico (Fórmula)	Valor-p	Interpretación
Lambda de Wilks (Λ)	$\Lambda = \det(\mathbf{E}) / \det(\mathbf{E} + \mathbf{H})$	< 0.001	Indica efecto significativo conjunto de las variables independientes.
Trazo de Pillai (V)	$V = \text{tr}[\mathbf{H}(\mathbf{H} + \mathbf{E})^{-1}]$	< 0.001	Confirma significancia robusta, incluso ante violaciones de supuestos.
Trazo de Hotelling-Lawley (U)	$T^2 = \text{tr}[\mathbf{H} \cdot \mathbf{E}^{-1}]$	< 0.001	Evidencia alta proporción de varianza explicada por los predictores.
Estadístico de Roy (θ)	$\boldsymbol{\theta} = \lambda_1$ = mayor valor propio de $(\mathbf{E}^{-1}\mathbf{H})$	< 0.001	Destaca la influencia de x_4, x_7, x_{13} y x_{17} sobre una combinación lineal clave de las variables respuesta.

Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025).

Donde:

- **H**: Matriz de sumas de cuadrados y productos del modelo (hipótesis)
- **E**: Matriz de sumas de cuadrados y productos del error
- **tr[·]**: Trazado (suma de elementos diagonales)
- **det(·)**: Determinante de la matriz
- $\boldsymbol{\lambda_1}$: Mayor valor propio

Interpretación:

Los resultados de la prueba MANOVA evidenciaron valores-p menores a 0.001 en todos los casos, lo que permitió rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza del 99.9 %. Esto confirma que el modelo RLMM tiene un efecto multivariado significativo sobre las variables de salida: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Las estadísticas multivariantes clásicas Wilks' Lambda, Pillai's Trace, Hotelling-Lawley Trace y Roy's Largest Root mostraron coherencia en indicar significancia conjunta. Asimismo, las variables x_4, x_7, x_{13} y x_{17} se destacaron por sus altos valores F y bajos p-valores, evidenciando su influencia relevante. En conjunto, estos resultados validan estadísticamente la capacidad predictiva del modelo RLMM para el diseño óptimo de mezclas de concreto en Ayacucho.

3.9.3.3.3. Evaluación gráfica de los supuestos del modelo de regresión lineal multivariada múltiple (RLMM)

Una vez ajustado el modelo de regresión lineal multivariada múltiple (RLMM), se llevó a cabo un análisis visual para inspeccionar gráficamente los supuestos de normalidad multivariada, homocedasticidad e independencia de los residuos. Para ello, se emplearon los vectores

residuales generados por el modelo junto con gráficos obtenidos mediante el software RStudio, lo cual permitió identificar posibles desviaciones de los supuestos teóricos. A continuación, se detalla los resultados e interpretaciones correspondientes.

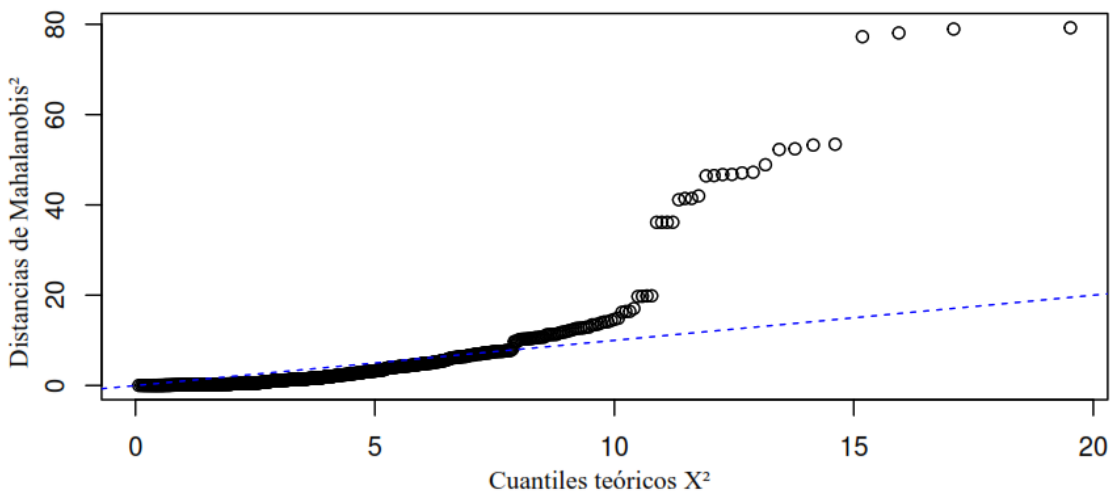
1. Análisis de la normalidad multivariada de los residuos

Para examinar si los **residuos** (vectores de diferencia entre los valores reales y los predichos de las múltiples variables de salida, para cada observación del modelo RLMM) del modelo siguen una distribución normal multivariada, se empleó el Gráfico Q-Q Chi-cuadrado sobre los vectores residuales. Este gráfico contrasta las distancias de Mahalanobis elevadas al cuadrado (MD^2) de los residuos estandarizados frente a los valores esperados bajo una distribución chi-cuadrado con *p* grados de libertad (donde *p* = número de variables dependientes; en este escenario, *p=4*).

El gráfico Q-Q de las distancias de Mahalanobis al cuadrado (**Figura 47**) muestra una alineación general con la línea diagonal, lo que indica que los residuos siguen una distribución normal multivariada. Las leves desviaciones en los extremos, especialmente en la cola superior derecha, sugieren posibles valores atípicos, sin afectar de forma significativa la validez del modelo.

Figura 47

Q-Q Chi-cuadrado para residuos multivariados



Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025), adaptado de (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017).

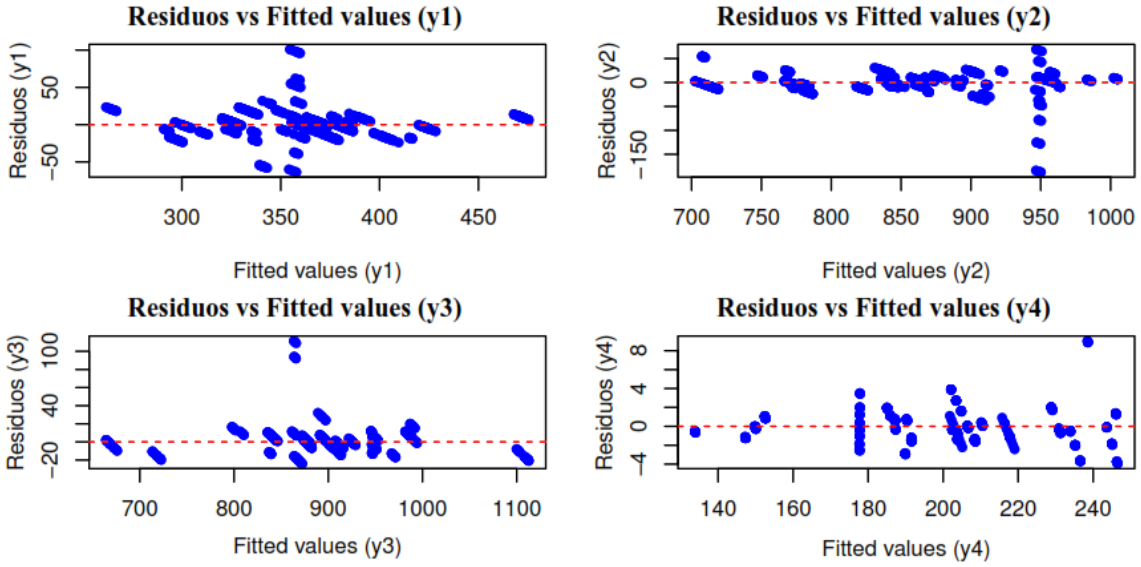
2. Evaluación de la homocedasticidad

La homocedasticidad (igualdad de varianzas) sugiere que la varianza de los residuos se mantiene constante en todos los niveles de predicción del modelo. Para evaluar este supuesto, se generó un diagrama de residuos vs. valores ajustados para cada variable dependiente (y_1, y_2, y_3, y_4).

Los gráficos de residuos versus valores ajustados (**Figura 48**) para las variables dependientes y_1 (Cemento), y_2 (Agregado fino), y_3 (Agregado grueso) e y_4 (Agua) muestran, en general, una dispersión constante de los residuos, lo que indica el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad. Solo en y_2 se aprecia una ligera heterocedasticidad en el extremo derecho, sin que ello afecte significativamente la validez global del modelo multivariado. Los residuos se distribuyen aleatoriamente alrededor de cero, sin patrones en forma de cono, curva o banda, lo que sugiere varianza constante.

Figura 48

Gráfico de residuos vs. valores ajustados



Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025), adaptado de (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017).

3. Análisis de independencia de los residuos

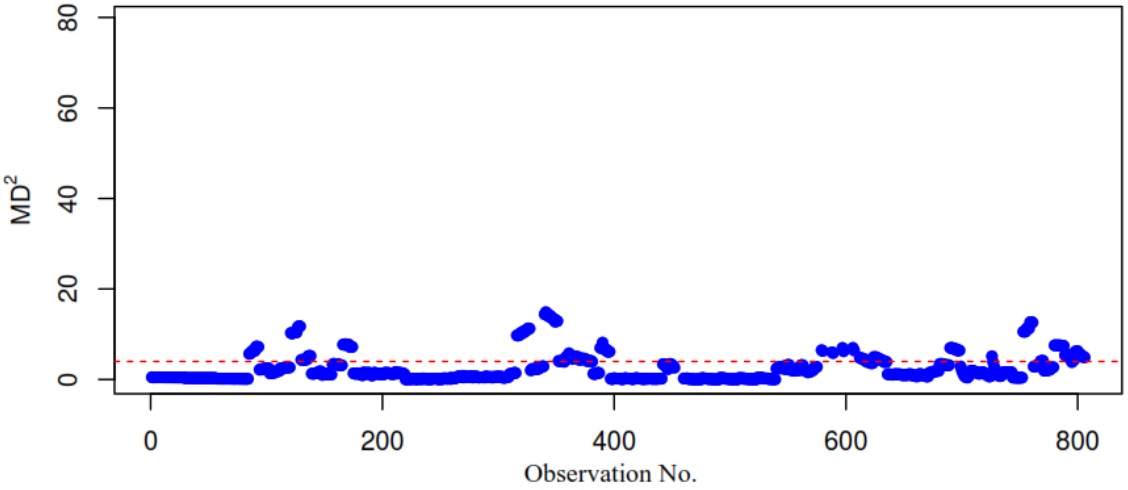
La independencia de los errores es otro supuesto clave en modelos de regresión. En contextos de datos ordenados temporalmente o secuencialmente, se espera que no haya autocorrelación entre los residuos consecutivos. Para evaluarlo, se utilizó el gráfico de

correlación serial basado en la distancia de Mahalanobis al cuadrado (MD^2) en función del orden de las observaciones.

El gráfico de correlación serial de la distancia de Mahalanobis al cuadrado (MD^2) frente al número de observación (**Figura 49**) muestra una dispersión aleatoria de los puntos alrededor del umbral crítico, lo que respalda el cumplimiento del supuesto de independencia de los errores en el modelo RLMM. Aunque se observan algunos outliers multivariantes aislados, no presentan patrones sistemáticos, por lo que el modelo conserva su validez estadística y confiabilidad predictiva para los fines planteados.

Figura 49

Gráfico de correlación serial de MD^2



Nota: Elaboración propia con RStudio 2024.12.0 (2025), adaptado de (Flores, 2024a, 2024b; Joaquin & Ezequiel, 2017).

3.9.3.3.4. Matriz de suma de cuadrados de los errores (SSE)

La matriz SSE (Suma de Cuadrados de los Errores) en un modelo de regresión lineal con múltiples variables captura la diversidad de lo que el modelo no logra explicar para cada variable dependiente, junto con las interrelaciones de los errores entre ellas. Esta matriz tiene como diagonal principal las sumas de cuadrados de los errores individuales de cada variable dependiente (y_1, y_2, y_3, y_4), mientras que los elementos fuera de la diagonal representan la covarianza entre los errores de diferentes variables.

La matriz SSE obtenida del modelo RLMM es:

$$SSE = \begin{bmatrix} 264631.530 & -304759.774 & 133116.201 & 6360.472 \\ -304759.774 & 436263.690 & -219475.097 & -8571.960 \\ 133116.201 & -219475.097 & 162760.123 & 4096.726 \\ 6360.472 & -8571.960 & 4096.726 & 1982.325 \end{bmatrix}$$

Interpretación y conclusión de la matriz SSE:

La matriz SSE indica un buen ajuste del modelo RLMM, con errores residuales moderados y mayor precisión en la predicción de y_4 (Agua), como lo evidencia su menor varianza residual. Las covarianzas fuera de la diagonal reflejan correlación entre los errores de y_1 (Cemento), y_2 (Agregado fino) y y_3 (Agregado grueso), lo que justifica el enfoque multivariado adoptado. A pesar de algunas magnitudes elevadas, no se detecta colinealidad ni heterocedasticidad severa, por lo que el modelo mantiene su validez estadística y capacidad predictiva global.

3.9.3.3.5. Conclusión de la evaluación estadística del modelo RLMM

El modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) mostró un desempeño estadístico favorable en la predicción de las cuatro variables de salida: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, con coeficientes de determinación (R^2) entre 84.18 % y 99.68 %. Las métricas de error, especialmente el RMSE en y_4 (1.59), y los bajos valores de SSE respaldan un buen ajuste. Las pruebas MANOVA (Wilks, Pillai, Hotelling-Lawley y Roy) confirmaron la significancia estadística del modelo. Aunque se detectó leve heterocedasticidad en y_2, en general se cumplieron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia. En conclusión, el RLMM es un modelo robusto, válido y útil para el diseño de mezclas del concreto en Ayacucho.

3.9.3.4. Validación de resultados de la regresión con muestras reales

Con el fin de verificar el poder predictivo del modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM), se aplicaron las ecuaciones obtenidas **(38), (39), (40**) **y (41)** utilizando un conjunto de muestras reales no empleadas durante el ajuste del modelo, tal como se detalla en la **Tabla 24**. Para comparar las dosificaciones reales y predichas de los materiales del concreto, se utilizaron métricas estadísticas como el MSE, R^2, errores absolutos y porcentuales, así como gráficos de dispersión 1:1, lo que permitió evaluar visual y numéricamente el ajuste de los modelos. Los resultados detallados se presentan en las siguientes secciones.

3.9.3.4.1. Aplicación del modelo RLMM a datos reales

Para cada muestra real, se utilizaron los valores observados de las variables independientes como entrada al modelo, y se obtuvieron los valores predichos correspondientes a y_1 (Cemento), y_2 (Agregado fino), y_3 (Agregado grueso) e y_4 (Agua).

La **Tabla 32** presenta un resumen de dichas predicciones, evidenciando las dosificaciones estimadas por el modelo para el diseño de mezcla de concreto.

Tabla 32

Dosificaciones de mezcla predichas por el modelo de RLMM

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	PRONÓSTICO RLMM			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)
Cantera "La Moderna"	MM1	140	296.237	902.372	847.958	202.096
		175	320.053	882.616	843.373	203.415
		210	347.345	858.967	841.461	204.848
	MM2	140	309.156	885.479	882.843	202.420
		175	335.426	862.983	880.146	203.814
		210	359.443	842.993	875.715	205.147
	MM3	140	300.157	885.021	849.347	216.404
		175	326.834	862.069	846.962	217.810
		210	350.213	842.792	842.041	219.124
Cantera "Chillico"	CM1	140	322.025	912.891	725.596	243.599
		175	350.880	887.507	724.886	245.071
		210	376.885	865.295	721.984	246.466
	CM2	140	335.496	992.856	679.344	233.932
		175	358.123	974.430	673.845	235.214
		210	382.928	953.560	670.020	236.572

Nota: Elaboración propia

3.9.3.4.2. Comparación entre valores reales y predichos por el modelo RLMM

Se emplearon 15 muestras reales, previamente excluidas del entrenamiento, para validar el modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM), comparando las dosificaciones reales con las predichas. La

Tabla 33 resume estos resultados para mezclas de las canteras "La Moderna" y "Chillico", con resistencias de 140, 175 y 210 kg/cm². En general, las predicciones para cemento, agregado fino, agregado grueso y agua presentan alta concordancia con los valores reales. Por ejemplo, en la muestra CM2 (210 kg/cm²), el contenido real de cemento fue 386.819 kg/m³, frente a una predicción de 382.082 kg/m³, con una diferencia de apenas 4.737 kg/m³, lo que evidencia

la precisión del modelo. La precisión será cuantificada en las secciones siguientes mediante métricas de error y gráficos comparativos.

Tabla 33

Comparación entre la dosificación real y pronosticada por el modelo de RLMM

ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	REAL (ACI 211.1)				PRONÓSTICO RLMM			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)	Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)
Cantera "La Moderna"	MM1	140	299.708	897.444	848.030	206.092	296.237	902.372	847.958	202.096
		175	326.433	875.151	848.030	206.266	320.053	882.616	843.373	203.415
		210	367.120	841.212	848.030	206.530	347.345	858.967	841.461	204.848
	MM2	140	299.708	889.552	880.604	202.169	309.156	885.479	882.843	202.420
		175	326.433	867.147	880.604	202.487	335.426	862.983	880.146	203.814
		210	367.120	833.037	880.604	202.971	359.443	842.993	875.715	205.147
	MM3	140	299.708	890.326	848.302	216.663	300.157	885.021	849.347	216.404
		175	326.433	868.403	848.302	216.660	326.834	862.069	846.962	217.810
		210	367.120	835.028	848.302	216.657	350.213	842.792	842.041	219.124
Cantera "Chillico"	CM1	140	315.789	937.104	704.650	243.416	322.025	912.891	725.596	243.599
		175	343.949	914.895	704.650	243.042	350.880	887.507	724.886	245.071
		210	386.819	881.085	704.650	242.472	376.885	865.295	721.984	246.466
	CM2	140	315.789	1007.228	668.061	233.392	335.496	992.856	679.344	233.932
		175	343.949	984.458	668.061	233.199	358.123	974.430	673.845	235.214
		210	386.819	949.792	668.061	232.905	382.928	953.560	670.020	236.572

Nota: Elaboración propia

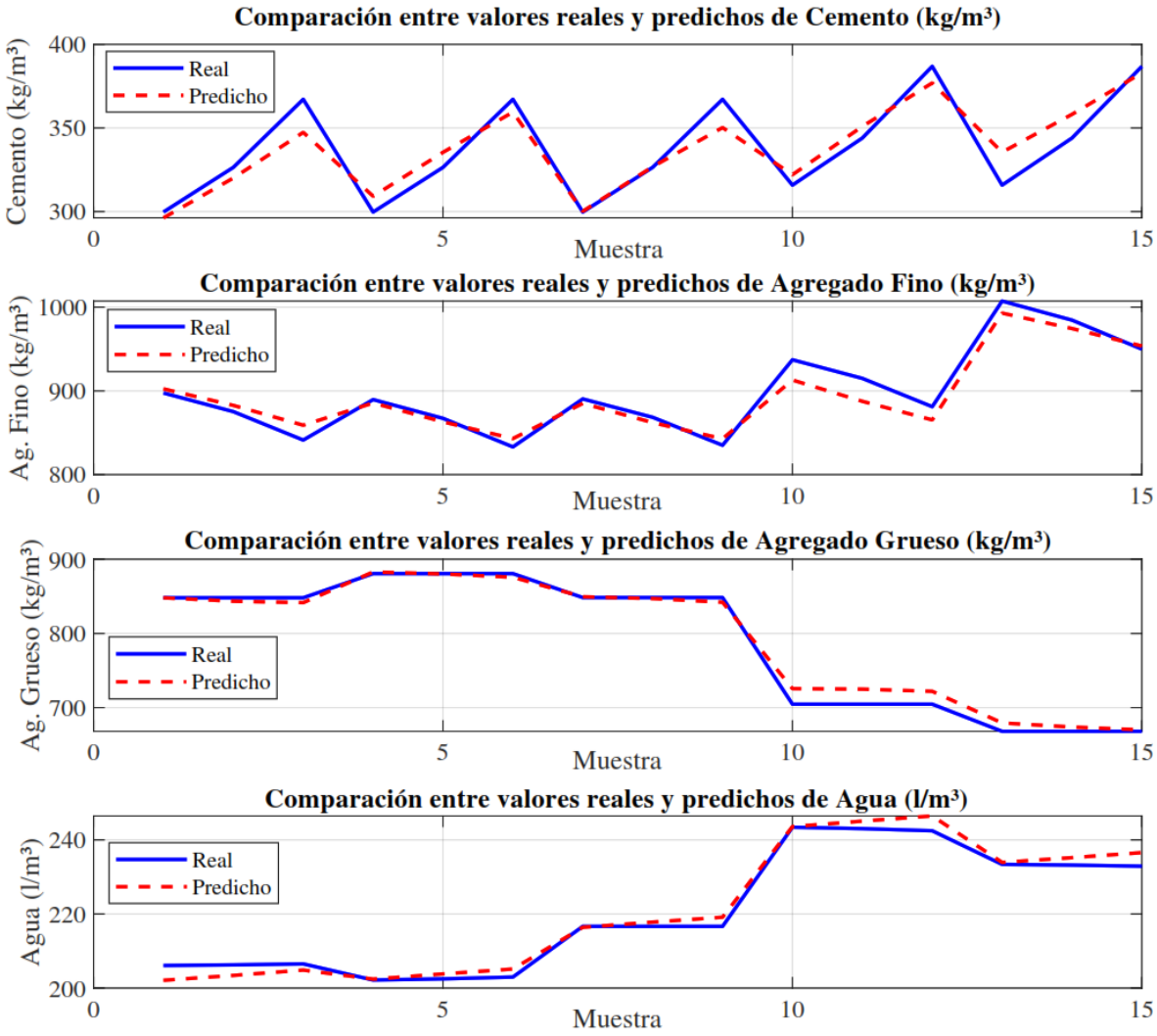
A continuación, se presenta la gráfica correspondiente a la **Tabla 33**, destacando la comparación entre la dosificación real y la dosificación pronosticada mediante el modelo RLMM implementada.

La **Figura 50** muestra el cotejo entre los valores reales experimentales (ACI 211.1) y los valores pronosticados por el modelo RLMM para las variables: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Las líneas azules representan los datos experimentales y las rojas discontinuas las predicciones.

Se aprecia buena concordancia general, sobresaliendo un ajuste preciso en agregado grueso y agua. El cemento y el agregado fino muestran variaciones, pero mantienen la tendencia, lo que demuestra la efectividad del modelo.

Figura 50

Comparación de valores reales y predichos: ACI 211.1 vs. modelo RLMM



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Tabla 34 exhibe el estudio del error absoluto (EA) y el error porcentual (EP) entre las mezclas de concreto reales y las proyectadas por medio del modelo de regresión lineal múltiple multivariante para las muestras de las canteras “La Moderna” y “Chillico”, con niveles de resistencia a la compresión de 140, 175 y 210 kg/cm². Los hallazgos revelan errores generalmente bajos, reflejando un buen ajuste del modelo. El cemento de la muestra CM2 a 175 kg/cm² presenta el mayor error porcentual registrado, con un 6.24%, erigiéndose como el error porcentual más elevado del grupo. No obstante, el promedio de error porcentual entre los cuatro componentes se mantiene por debajo del 3%, atestiguando una precisión general aceptable. El Error Cuadrático Medio (MSE) es superior para el agregado fino (170.92), seguido por el cemento (116.61), evidenciando leves desviaciones dentro de márgenes

tolerables. En resumen, estos indicadores ratifican la habilidad del modelo RLMM para producir estimaciones confiables de las dosificaciones de concreto.

Tabla 34

Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones experimentales y pronosticadas por el modelo de RLMM

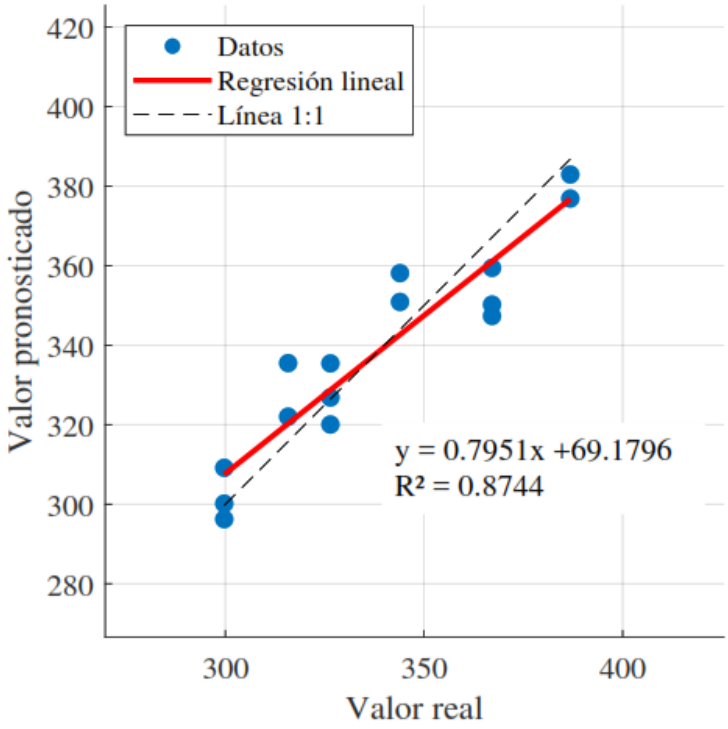
ORIGEN	MUESTRA	f'c DISEÑO (kg/cm²)	ERROR ABSOLUTO (EA)				ERROR PORCENTUAL (EP) (%)			
			Cemento (kg/m³)	Agregado Fino (kg/m³)	Agregado Grueso (kg/m³)	Agua (l/m³)	Error_1 (%) Cemento	Error_2 (%) Agregado Fino	Error_3 (%) Agregado Grueso	Error_4 (%) Agua
Cantera "La Moderna"	MM1	140	3.471	4.927	0.072	3.996	1.16%	0.55%	0.01%	1.94%
		175	6.380	7.465	4.656	2.851	1.95%	0.85%	0.55%	1.38%
		210	19.775	17.755	6.569	1.682	5.39%	2.11%	0.77%	0.81%
	MM2	140	9.448	4.073	2.239	0.251	3.15%	0.46%	0.25%	0.12%
		175	8.993	4.164	0.459	1.326	2.75%	0.48%	0.05%	0.66%
		210	7.678	9.956	4.890	2.176	2.09%	1.20%	0.56%	1.07%
	MM3	140	0.449	5.305	1.045	0.259	0.15%	0.60%	0.12%	0.12%
		175	0.401	6.335	1.339	1.149	0.12%	0.73%	0.16%	0.53%
		210	16.907	7.763	6.261	2.467	4.61%	0.93%	0.74%	1.14%
Cantera "Chillico"	CM1	140	6.235	24.212	20.946	0.183	1.97%	2.58%	2.97%	0.08%
		175	6.931	27.389	20.236	2.029	2.02%	2.99%	2.87%	0.83%
		210	9.934	15.790	17.334	3.994	2.57%	1.79%	2.46%	1.65%
	CM2	140	19.707	14.372	11.284	0.539	6.24%	1.43%	1.69%	0.23%
		175	14.174	10.027	5.785	2.015	4.12%	1.02%	0.87%	0.86%
		210	3.892	3.768	1.959	3.666	1.01%	0.40%	0.29%	1.57%
			ERROR PORCENTUAL PROMEDIO (MAPE)				2.62%	1.21%	0.96%	0.87%
			ERROR CUADRÁTICO MEDIO (MSE)				116.61	170.92	96.63	5.26
			ERROR PORCENTUAL MÁXIMO				6.24%			

Nota: Elaboración propia

La **Figura 51** ilustra la conexión existente entre los valores reales y los estimados del contenido de cemento (kg/m³), calculados a través del modelo de regresión lineal múltiple multivariante. Los puntos azules simbolizan las proyecciones del modelo en comparación con los datos reales, la línea roja denota la regresión lineal ajustada y la línea punteada negra encarna la línea ideal de predicción perfecta (1:1). Se observa que los puntos de datos se distribuyen razonablemente alrededor de esta línea ideal, lo cual manifiesta una buena capacidad predictiva del modelo. La ecuación de la regresión, $y = 0.7951x + 69.1796$, sugiere una leve subvaloración de los valores altos de cemento. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.8744$ revela que el 87.44 % de la variación en los datos reales es aclarada por el modelo, evidenciando un ajuste robusto. En conjunto, esta figura manifiesta que el modelo RLMM ofrece una estimación confiable del contenido de cemento dentro de los rangos analizados en el estudio.

Figura 51

Comparación real vs. pronóstico de cemento grueso (kg/m³) con el modelo RLMM

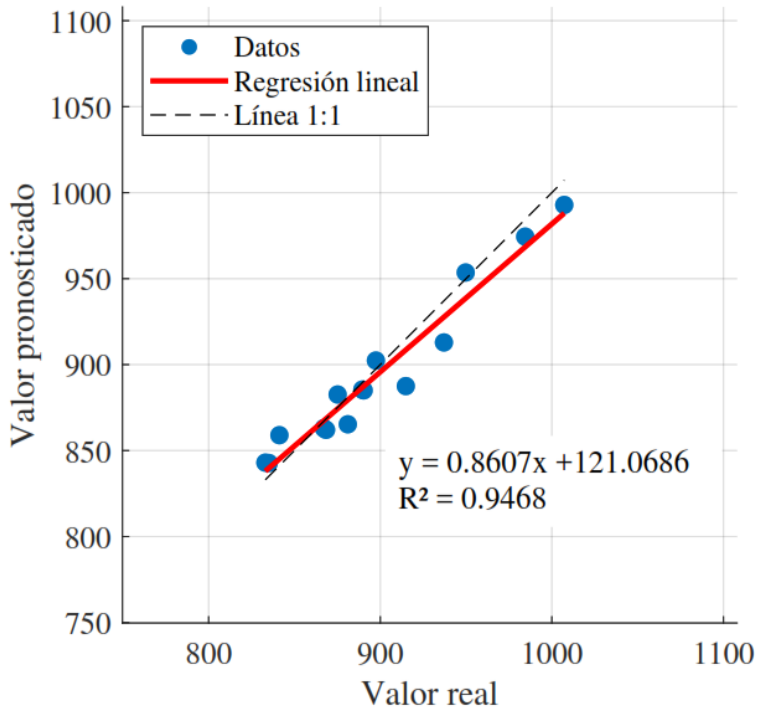


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 52** exhibe la correlación entre los valores reales y los pronosticados del contenido de agregado fino (kg/m³), producidos por el modelo de regresión lineal multivariante (MRLM). Los puntos en tonalidad azul simbolizan los datos predichos en comparación con los valores reales, mientras que la línea roja denota la regresión lineal obtenida, y la línea punteada señala la línea ideal de una predicción perfecta (1:1). La mayoría de los puntos se alinean cercanos a esta línea ideal, lo que sugiere una adecuada capacidad de predicción del modelo. La fórmula de la regresión es y = 0.8607x + 121.0686, donde la pendiente menor que uno indica una leve subestimación en los valores elevados y la intersección positiva implica una sobreestimación en los valores bajos. El coeficiente de determinación R^2 = 0.9468 demuestra que el modelo explica el 94.68 % de la variabilidad en los datos reales, exhibiendo un buen ajuste y un sólido desempeño en la predicción del agregado fino.

Figura 52

Comparación real vs. pronóstico de agregado fino (kg/m³) con el modelo RLMM

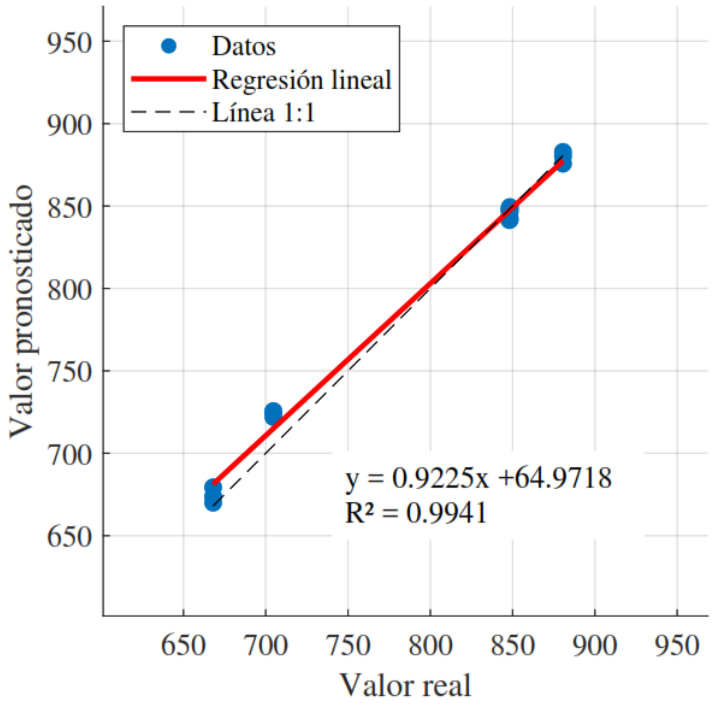


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 53** ilustra la correlación entre los valores reales y los estimados del contenido de agregado grueso (en kg/m³), obtenidos por el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM). Los puntos azules simbolizan los datos pronosticados en comparación con los reales, mientras que la línea roja representa la regresión lineal ajustada, y la línea discontinua marca la línea de predicción ideal (1:1). Se destaca que los puntos se concentran próximos a la línea 1:1, demostrando una alta precisión del modelo. La ecuación que describe la regresión es $y = 0.9225x + 64.9718$, donde la pendiente inferior a uno sugiere una ligera subestimación en los valores más elevados, y el intercepto positivo denota una tenue sobreestimación en los valores bajos. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.9941$ revela que el modelo es capaz de explicar el 99.41 % de la variabilidad de los datos reales, lo cual evidencias un ajuste excepcional y una capacidad predictiva sumamente confiable en la estimación del agregado grueso.

Figura 53

Comparación real vs. pronóstico de agregado grueso (kg/m³) con el modelo RLMM



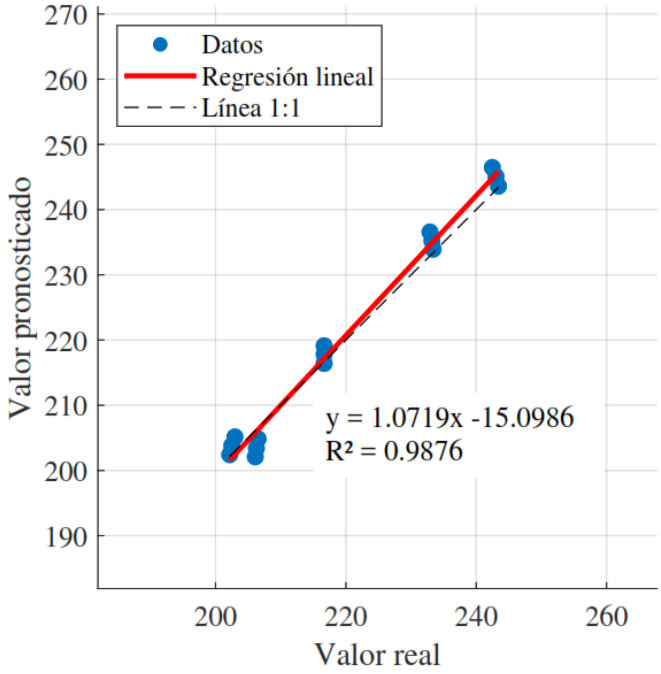
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 54** presenta la relación entre los valores reales y los pronosticados del volumen de agua (l/m³), obtenidos mediante el modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM). Los puntos en azul representan los datos estimados frente a los medidos, la línea roja corresponde a la regresión lineal ajustada y la línea discontinua indica la predicción ideal (1:1). La proximidad de la mayoría de los puntos a esta línea perfecta evidencia la alta precisión del modelo. La ecuación de regresión $y = 1.0719x - 15.0986$ revela una ligera sobreestimación en los valores altos y una subestimación en los bajos, mientras que el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9876$) confirma que el modelo explica el 98.76 % de la variabilidad de los datos reales, lo que refleja un ajuste excelente y un desempeño altamente confiable.

Seguidamente, la **Tabla 35** se expone un resumen de los parámetros estadísticos más sobresalientes del modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM) aplicado a la predicción de los materiales en la mezcla del concreto. Se especifican las ecuaciones del ajuste lineal, así como los valores de la pendiente, el intercepto y el coeficiente de determinación (R^2) para cada variable evaluada. Esta información es complementada con un gráfico comparativo en forma de diagrama de barras, visible en la **Figura 55**, que permite apreciar con claridad el nivel de ajuste logrado por el modelo.

Figura 54

Comparación real vs. pronóstico de agua (l/m³) con el modelo RLMM



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

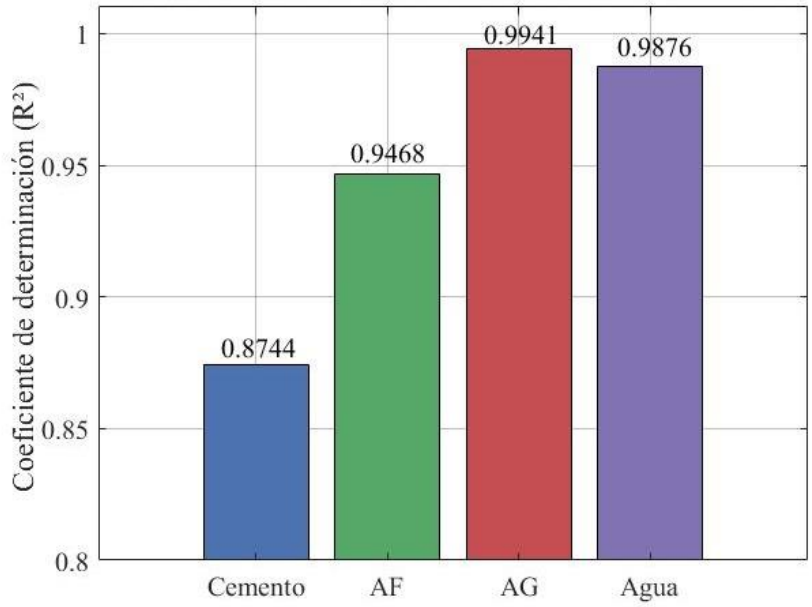
Tabla 35

Resumen de métricas de desempeño del modelo de RLMM

Variable	Ecuación de regresión	Pendiente	Intercepto	Coeficiente Determinación (R^2)	Interpretación clave
Cemento (kg/m³)	y = 0.7951x + 69.1796	0.7951	69.1796	0.8744	Buen ajuste; subestimación en valores altos y leve sobreestimación en los bajos.
Agregado fino (kg/m³)	y=0.8607x+121.0686	0.8607	121.0686	0.9468	Muy buen ajuste; leve subestimación en valores altos y sobreestimación en los bajos.
Agregado grueso (kg/m³)	y=0.9225x+64.9718	0.9225	64.9718	0.9941	Ajuste sobresaliente; predicciones precisas con ligeras desviaciones sistemáticas.
Agua (l/m³)	y = 1.0719x − 15.0986	1.0719	− 15.0986	0.9876	Excelente ajuste; sobreestimación en valores altos y subestimación en valores bajos.
			Promedio	0.950725	Ajuste excelente

Nota: Elaboración propia

Figura 55
Comparación de R² por variable en el modelo RLMM



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.3.5. Interpretación de resultados obtenidos mediante RLMM

El modelo de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM) demostró alta capacidad predictiva en el diseño de mezclas de concreto, con coeficientes de determinación (R^2) superiores al 87 %, destacando 99.41 % en agregado grueso y 98.76 % en agua. Su precisión y estabilidad reducen la necesidad de ensayos físicos, consolidándolo como herramienta eficiente para contextos locales.

3.9.4. Comparación de modelos predictivos: RNA vs. RLMM

Esta sección compara el desempeño predictivo de los modelos RNA y RLMM en el diseño de mezclas de concreto, utilizando métricas estadísticas como MSE, RMSE, MAE, MAPE, mejora porcentual, R, R^2 y el índice de eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE). Finalmente, se procede a la selección del modelo más óptimo.

3.9.4.1. Análisis comparativo de indicadores de ajuste

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las métricas

Tabla 36

Métricas de validación externa por variable para el modelo RNA.

Variable	RMSE	MAE	MSE	MAPE (%)	ME	R	R^2	Nash
Cemento	3.9697	3.4980	15.7588	1.0131	0.7096	0.9917	0.9835	0.9820
Agregado Fino	9.5922	8.2433	92.0110	0.9263	8.1926	0.9955	0.9910	0.9638
Agregado Grueso	14.8359	10.8285	220.1032	1.4162	-10.0455	0.9919	0.9840	0.9704
Agua	0.7868	0.6750	0.6191	0.3144	-0.6750	0.9997	0.9995	0.9974
Promedio	7.2962	5.8112	82.1230	0.9175	-0.4546	0.9947	0.9895	0.9784

Nota: Elaboración propia (basada en las **Tabla 25**, **Tabla 26** y **Tabla 27**).

Tabla 37

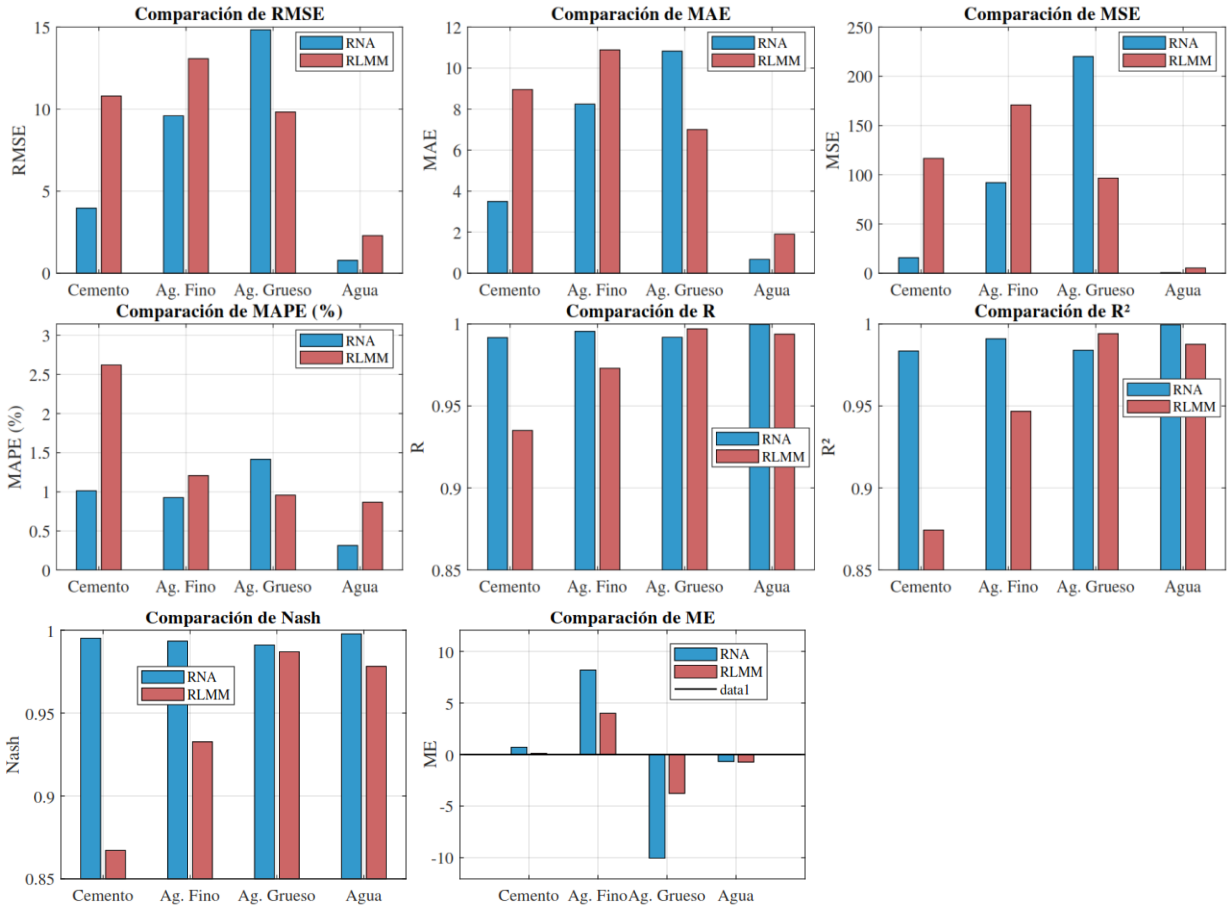
Métricas de validación externa por variable para el modelo RLMM

Variable	RMSE	MAE	MSE	MAPE (%)	ME	R	R^2	Nash
Cemento	10.7985	8.9583	116.6071	2.6201	0.1131	0.9351	0.8744	0.8672
Agregado Fino	13.0738	10.8869	170.9235	1.2075	4.0021	0.9730	0.9468	0.9327
Agregado Grueso	9.8297	7.0048	96.6236	0.9577	-3.7720	0.9970	0.9941	0.9870
Agua	2.2929	1.9058	5.2574	0.8669	-0.7341	0.9938	0.9876	0.9782
Promedio	8.9987	7.1889	97.3529	1.4130	-0.0977	0.9747	0.9507	0.9413

Nota: Elaboración propia (basada en las **Tabla 33**, **Tabla 34** y **Tabla 35**).

Figura 56

Precisión de RNA y RLMM en predicción de componentes de concreto



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Tabla 38** resume el desempeño global de los modelos, mostrando que las redes neuronales alcanzan un nivel de predicción superior al obtenido con el RLMM.

Tabla 38

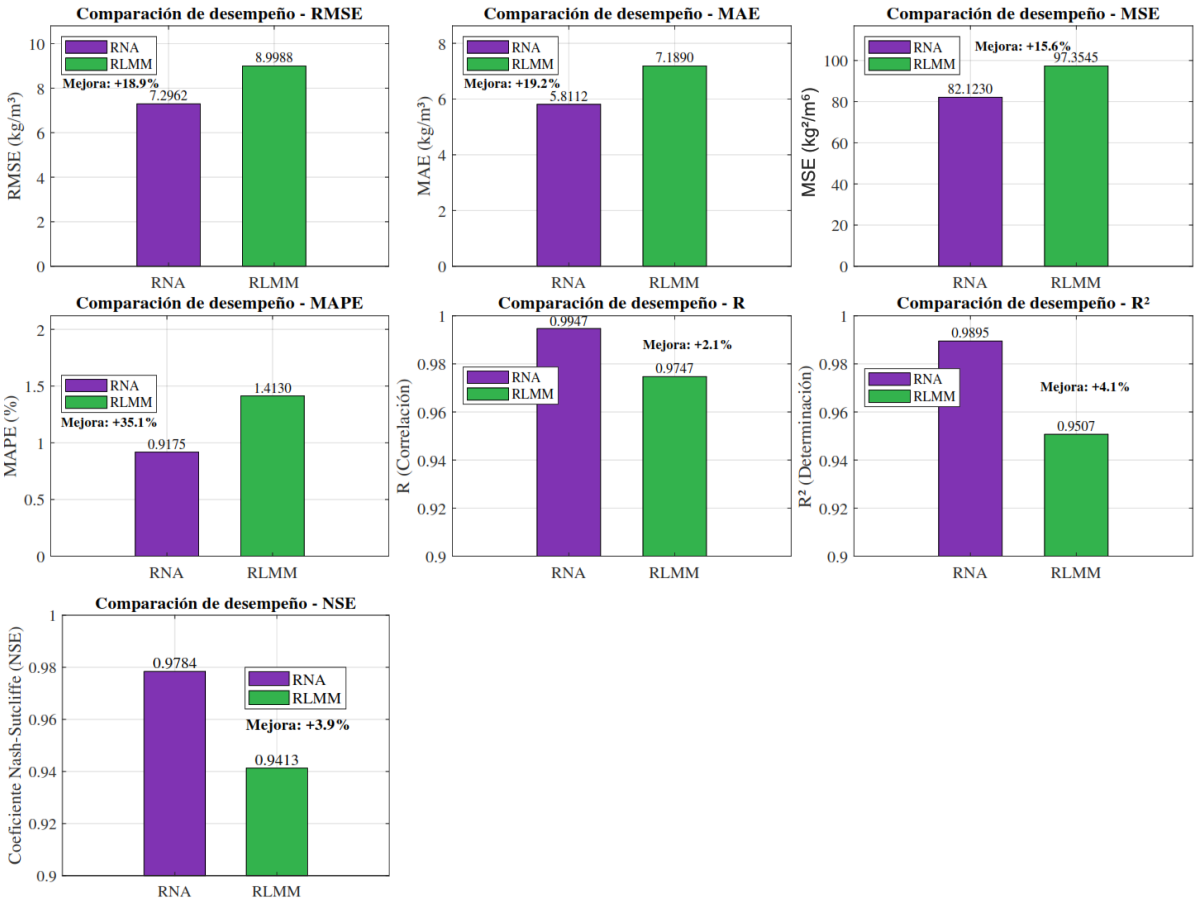
Comparación de desempeño global promedio: RNA vs RLMM

Métrica	RNA	RLMM	% Mejora RNA	Interpretación
RMSE (kg/m³)	7.2962	8.9988	18.9	El RNA reduce el error cuadrático medio en un 18.9%
MAE (kg/m³)	5.8112	7.1890	19.2	Error absoluto promedio 19.2% menor con RNA
MSE (kg²/m⁶)	82.123	97.3545	15.6	El RNA disminuye errores extremos un 15.6% más que RLMM
MAPE (%)	0.9175	1.4130	35.1	Error porcentual promedio 35.1% más bajo con RNA
R (Correlación)	0.9947	0.9747	2.1	Correlación ligeramente más fuerte (2.1%) con valores reales
R^2 (Determinación)	0.9895	0.9507	4.1	El RNA explica 4.1% más de la varianza de los datos
Nash-Sutcliffe (NSE)	0.9784	0.9413	3.9	Mejor capacidad predictiva (3.9% superior) frente a usar la media como referencia

Nota: Elaboración propia (basada en la **Tabla 36** y **Tabla 37**

Figura 57

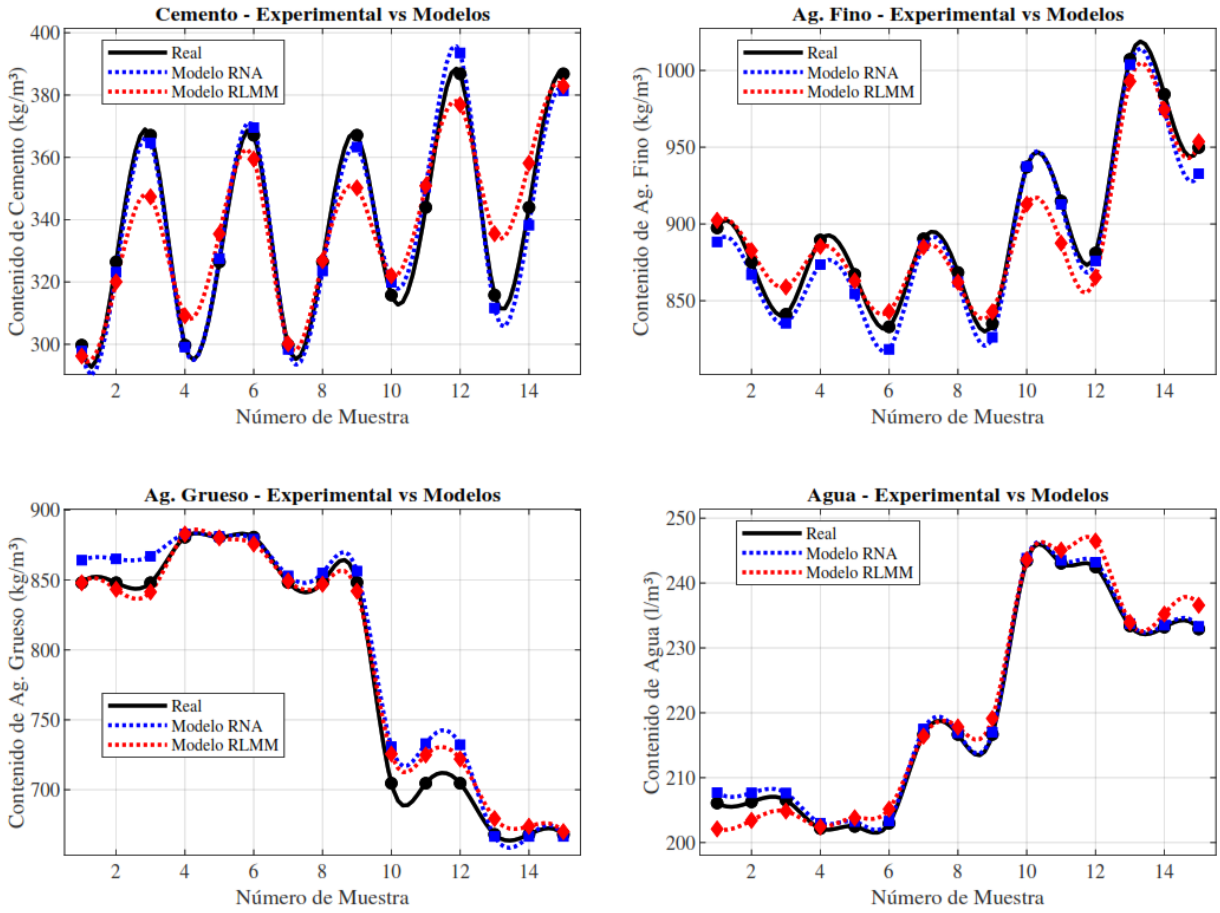
Comparación de modelos RNA vs RLMM - desempeño global



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 58

Variación de modelos de predicción de mezcla de concreto



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.4.2. Interpretación de resultados y selección del modelo óptimo

Se evaluó el desempeño predictivo de los modelos de redes neuronales artificiales (RNA) y regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en el diseño de mezclas de concreto, utilizando un conjunto de validación externa y métricas como el coeficiente de correlación (R), el error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el error porcentual absoluto medio (MAPE), el sesgo medio (ME), el coeficiente de determinación (R^2) y el índice de eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE). Como se muestra en la **Tabla 36**, el modelo RNA evidenció un desempeño significativamente superior, alcanzando valores de R mayores a 0.9917 y errores reducidos, como un RMSE de 0.7868 para el agua y 3.9697 para el cemento. Por el contrario, el RLMM presentó mayor dispersión en los errores y menor ajuste predictivo, como se aprecia en la **Tabla 37**. La **Figura 56** representa gráficamente esta comparación, evidenciando la mayor precisión del modelo RNA en todas las variables analizadas. La **Tabla 38** y **Figura 57**

consolida el análisis de desempeño global, donde la RNA supera al RLMM con una mejora del 18.9 % en RMSE, 19.2 % en MAE, 15.6 % en MSE y 35.1 % en MAPE, así como un R de 0.9947, R^2 de 0.9895 y un NSE de 0.9784. Finalmente, la **Figura 58** muestra la concordancia entre valores reales y predicciones para cemento, agregados y agua, destacando la capacidad de la RNA para capturar comportamientos no lineales con mayor estabilidad y precisión. En conjunto, estos resultados confirman que la RNA es el modelo óptimo seleccionado para el diseño de mezclas de concreto.

3.9.5. Evaluación del modelo RNA respecto al ACI 211.1

Una vez determinado que el modelo de RNA presenta el mejor desempeño predictivo, se realiza un contraste aplicado frente al método convencional ACI 211.1. Este análisis se desarrolla en dos etapas:

3.9.5.1. Análisis de concordancia: gráficos de Bland-Altman para cada variable

Para evaluar la concordancia entre las dosificaciones predichas por el modelo de redes neuronales artificiales (RNA) y los valores obtenidos mediante el método tradicional ACI 211.1, se aplicó el análisis gráfico de Bland-Altman para cada una de las variables de salida: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Este método estadístico, propuesto por Bland & Altman (1986), permite comparar dos técnicas de medición determinando tanto el sesgo promedio (es decir, la diferencia sistemática entre métodos) como los límites de concordancia, definidos como el intervalo $\bar{d} \pm 1.96 \cdot DE$, donde $\bar{d}$ representa la media de las diferencias y DE su desviación estándar.

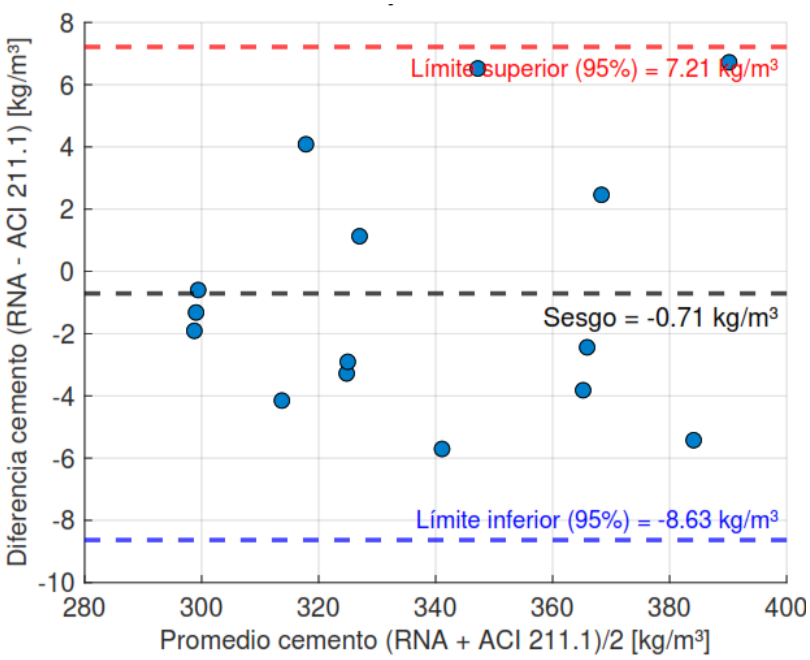
A diferencia de la simple correlación, el análisis de Bland-Altman resulta más adecuado para identificar discrepancias sistemáticas relevantes, particularmente en aplicaciones de ingeniería (Doğan, 2018), ya que proporciona una interpretación visual clara de la precisión y consistencia del modelo predictivo en comparación con un método de referencia. Por tanto, su aplicación permite evaluar de manera más rigurosa la viabilidad del uso de RNA en el diseño de mezclas de concreto.

Como se observa en la **Figura 59**, el análisis de Bland-Altman mostró un sesgo promedio de −0.71 kg/m³, lo que indica una mínima subestimación del modelo RNA respecto al método ACI 211.1. La desviación estándar fue de 4.04 kg/m³, reflejando una dispersión moderada. Los límites de concordancia (−8.63 a +7.21 kg/m³) incluyen el 95 % de las diferencias observadas.

No se detectó sesgo proporcional. En conjunto, los resultados indican una buena concordancia, validando al modelo RNA como una herramienta confiable para estimar el contenido de cemento.

Figura 59

Bland-Altman para cemento: RNA vs ACI 211.1

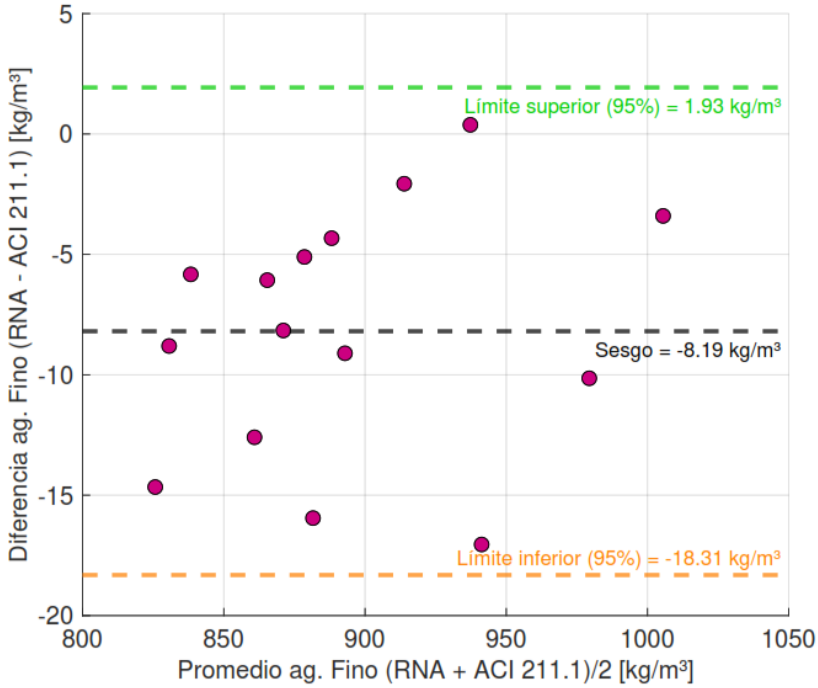


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

En la **Figura 60** se presenta el gráfico de Bland-Altman evidenció un sesgo promedio de −8.19 kg/m³, indicando una leve subestimación del modelo RNA frente al método tradicional. La desviación estándar fue de 5.16 kg/m³, revelando una dispersión moderada. Los límites de concordancia oscilaron entre −18.31 y +1.93 kg/m³, abarcando el 95 % de las diferencias. No se observó sesgo proporcional. Aunque la precisión es ligeramente menor que en otros componentes, se concluye que la concordancia es aceptable, por lo que el modelo RNA puede considerarse válido para estimar el agregado fino.

Figura 60

Bland-Altman para agregado fino: RNA vs ACI 211.1



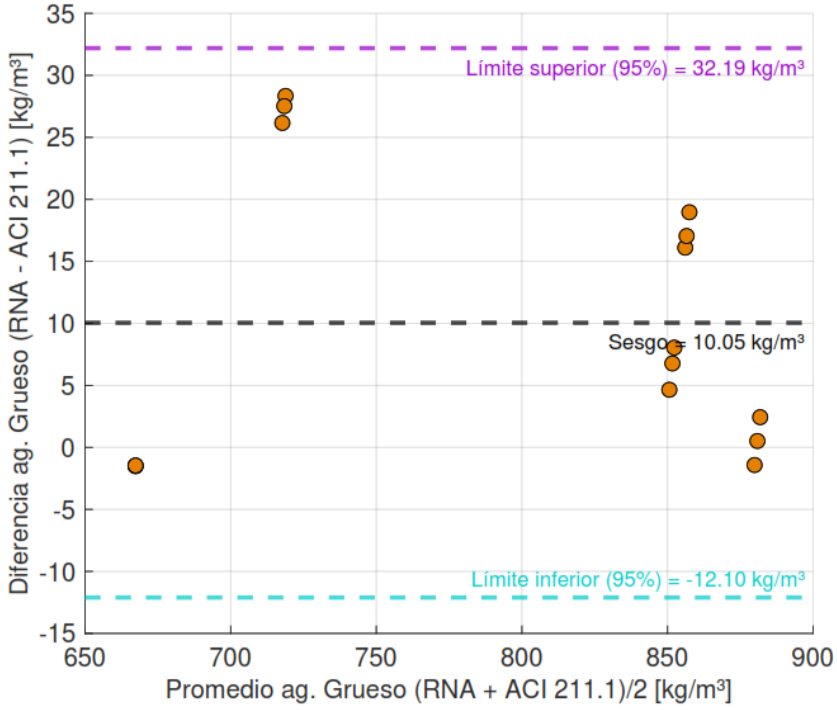
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Según el análisis representado en la **Figura 61**, se identificó un sesgo promedio de +10.05 kg/m³, lo que sugiere que el modelo RNA tiende a sobrestimar el agregado grueso frente al método ACI 211.1. La desviación estándar fue de 11.30 kg/m³, reflejando una mayor variabilidad. Los límites de concordancia (−12.10 a +32.19 kg/m³) incluyen el 95 % de las diferencias. Aunque la dispersión es más amplia, no se evidenció sesgo proporcional. En general, se considera una concordancia moderada, con posibilidad de ajustes en el modelo para mejorar la precisión.

Finalmente, en la **Figura 62**, análisis de Bland-Altman reveló un sesgo promedio de +0.67 l/m³, lo que indica una ligera sobrestimación del modelo RNA en comparación con el método tradicional. La desviación estándar fue de solo 0.42 l/m³, indicando una muy baja dispersión. Los límites de concordancia (−0.15 a +1.50 l/m³) fueron estrechos, conteniendo el 95 % de las diferencias. No se observó sesgo proporcional. Estos resultados confirman una excelente concordancia, validando al modelo RNA como una herramienta precisa para predecir el contenido de agua.

Figura 61

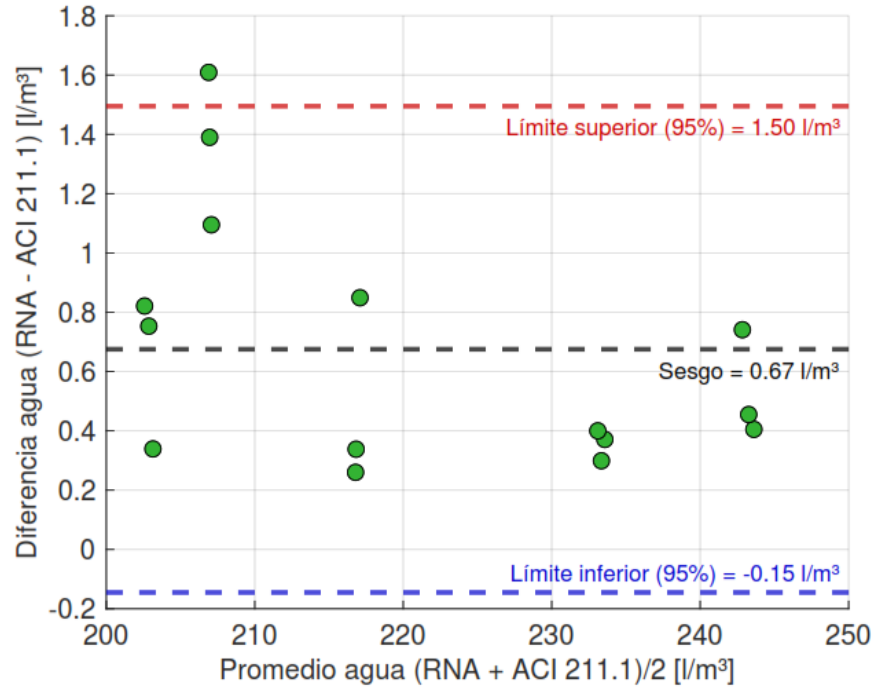
Bland-Altman para agregado grueso: RNA vs ACI 211.1



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 62

Bland-Altman para agua: RNA vs ACI 211.1



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

3.9.5.2. Conclusión general del análisis de concordancia (Bland-Altman)

Los resultados del análisis de Bland-Altman mostraron que el modelo basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA) presenta una concordancia aceptable con el método tradicional ACI 211.1 en la estimación de las proporciones de los materiales componentes del concreto. Para las variables cemento y agua, se observó un sesgo cercano a cero, baja dispersión y límites de concordancia estrechos, lo que indica una alta precisión y fiabilidad del modelo RNA en dichas predicciones. En el caso del agregado fino, aunque se evidenció un sesgo ligeramente mayor, la dispersión se mantuvo dentro de rangos aceptables, sin sesgo proporcional, lo cual respalda la validez práctica del modelo. Para el agregado grueso, se identificó un sesgo mayor y una mayor dispersión, lo que sugiere que esta variable requiere un ajuste o refinamiento adicional del modelo para mejorar su precisión.

En conjunto, se concluye que el modelo RNA logra una concordancia estadística favorable con el método ACI 211.1, especialmente en las variables más críticas (cemento y agua), por lo que puede ser considerado una herramienta predictiva confiable para el diseño de mezclas de concreto con propiedades locales en la ciudad de Ayacucho.

3.9.5.3. Impacto del modelo RNA en la dosificación de cemento

Esta sección evalúa de forma exploratoria el impacto del modelo RNA en la dosificación de cemento, insumo clave en el diseño de mezclas, con resultados orientativos fuera del enfoque principal del estudio.

3.9.5.3.1. Análisis por nivel de resistencia (f'c) - enfoque en cemento

Con el objetivo de evaluar la precisión del modelo de Redes Neuronales Artificiales (RNA) frente al método tradicional ACI 211.1, se realizó una comparación específica por niveles de resistencia a la compresión del concreto (f'c = 140, 175 y 210 kg/cm²), considerando los datos experimentales obtenidos de las canteras “La Moderna” y “Chillico”. El enfoque de este análisis incluye: la comparación de las dosificaciones de cemento por m³ entre ambos métodos, la cuantificación de la diferencia en kilogramos, el ahorro en el beneficio económico en soles (S/), considerando un precio referencial:

- Precio por bolsa de cemento (42.5 kg): S/ 32.00
- Precio por kg de cemento: $\frac{S/\,32.00}{42.5\,kg} = S/\,0.75$ por kg

1. Cantera “La Moderna”

Tabla 39

Comparación del consumo de cemento y ahorro económico - Cantera “La Moderna”

Resistencia (kg/cm²)	Muestra	Cemento ACI (kg/m³)	Cemento RNA (kg/m³)	Diferencia (kg/m³)	% Diferencia	Ahorro (S/m³)	Comportamiento
	MM1	299.708	297.798	+1.910	+0.637%	+1.439	Ahorro
140	MM2	299.708	299.109	+0.599	+0.200%	+0.451	Ahorro
	MM3	299.708	298.387	+1.321	+0.441%	+0.995	Ahorro
	MM1	326.433	323.153	+3.280	+1.005%	+2.470	Ahorro
175	MM2	326.433	327.562	–1.129	–0.346%	–0.850	Sobreconsumo
	MM3	326.433	323.527	+2.906	+0.890%	+2.188	Ahorro
	MM1	367.120	364.680	+2.440	+0.665%	+1.838	Ahorro
210	MM2	367.120	369.580	–2.460	–0.670%	–1.852	Sobreconsumo
	MM3	367.120	363.301	+3.819	+1.040%	+2.876	Ahorro

Nota: Elaboración propia

Tabla 40

Resumen por resistencia - Cantera “La Moderna”

Resistencia (kg/cm²)	Reducción promedio (kg/m³)	Ahorro promedio (S/m³)	Eficiencia
140	+1.277	+0.961	3/3 (100%)
175	+1.686	+1.269	2/3 (66.7%)
210	+1.266	+0.953	2/3 (66.7%)

Nota: Elaboración propia

La **Tabla 40** muestra que el modelo RNA fue más eficiente en el nivel de resistencia de 140 kg/cm², con un 100 % de ahorro en las muestras, promediando 1.277 kg/m³ menos de cemento y un ahorro de S/ 0.96 por m³. En los niveles de 175 y 210 kg/cm², la eficiencia fue del 66.7 %, con ahorros promedio de hasta S/ 1.26 y S/ 0.95 por m³, respectivamente. Técnicamente, el modelo demostró mayor precisión en resistencias bajas y medias, con sobreconsumos aislados y leves, lo que evidencia una buena calibración para los materiales utilizados.

2. Cantera "Chillico"

Tabla 41

Comparación del consumo de cemento y ahorro económico - Cantera "Chillico"

Resistencia (kg/cm²)	Muestra	Cemento ACI (kg/m³)	Cemento RNA (kg/m³)	Diferencia (kg/m³)	% Diferencia	Ahorro (S/m³)	Comportamiento
140	CM1	315.789	319.874	-4.085	-1.293	-3.076	Sobreconsumo
	CM2	315.789	311.638	+4.151	+1.314	+3.126	Ahorro
175	CM1	343.949	350.470	-6.521	-1.896	-4.910	Sobreconsumo
	CM2	343.949	338.243	+5.706	+1.659	+4.297	Ahorro
210	CM1	386.819	393.537	-6.718	-1.736	-5.059	Sobreconsumo
	CM2	386.819	381.394	+5.425	+1.403	+4.085	Ahorro

Nota: Elaboración propia

Tabla 42

Resumen por resistencia - Cantera "Chillico"

Resistencia (kg/cm²)	Reducción promedio (kg/m³)	Ahorro promedio (S/m³)	Eficiencia
140	+0.033	+0.025	1/2 (50%)
175	-0.408	-0.307	1/2 (50%)
210	-0.647	-0.487	1/2 (50%)

Nota: Elaboración propia

La **Tabla 42** revela un desempeño irregular del modelo RNA en la cantera "Chillico". Para 140 kg/cm², la eficiencia fue del 50 %, con un ahorro mínimo de 0.033 kg/m³ y S/ 0.03 por m³. En los niveles de 175 y 210 kg/cm², hubo sobreconsumo promedio de cemento (–0.41 y –0.65 kg/m³), lo que evidencia una ineficiencia parcial del modelo en esta cantera. Técnicamente, esto podría explicarse por variaciones geológicas del agregado, como forma, porosidad o impurezas, lo que sugiere que una calibración local del modelo podría mejorar su precisión.

Conclusión general del análisis por nivel de resistencia

El análisis por resistencia revela que el modelo RNA logra un impacto económico positivo en más del 66 % de las muestras evaluadas. La cantera "La Moderna" destaca por su comportamiento más estable y predecible, mientras que la cantera "Chillico" presenta mayores fluctuaciones, con resultados equilibrados entre ahorro y sobreconsumo. Esto sugiere la necesidad de ajustes específicos o un mayor volumen de datos locales para mejorar la precisión del modelo en dicha cantera.

Capítulo IV

4. Resultados y discusión

4.1. Introducción del capítulo

En este capítulo se contrastan la hipótesis general y las específicas a partir de los resultados obtenidos en el entrenamiento y validación externa de los modelos desarrollados (RNA y RLMM), utilizando métricas técnicas como MSE, RMSE, MAE, R^2, R, NSE, MAPE y mejora relativa del RNA (%). La aceptación o rechazo de cada hipótesis se basó en el nivel de precisión alcanzado por ambos modelos en la predicción de los materiales del concreto, bajo un nivel de confianza del 95 %. Cabe precisar que las pruebas estadísticas ANOVA y MANOVA se aplicaron únicamente en el **Capítulo III**, con el fin de validar la significancia del modelo RLMM antes de su comparación técnica con el modelo RNA.

4.2. Contrastación de la hipótesis general

El modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales permite optimizar significativamente la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales de Ayacucho (2024), y ofrece una mayor precisión en comparación con los métodos estadísticos tradicionales.

Formalización estadística:

- H_0 (Hipótesis nula): No existe una relación estadísticamente significativa entre las variables independientes (propiedades físicas, granulométricas y mecánicas de los materiales) utilizadas y las predicciones del modelo RNA.
- H_1 (Hipótesis alternativa): Existe una relación estadísticamente significativa entre las variables independientes y los valores predichos por el modelo RNA, alcanzando un nivel de ajuste global superior al 95%, lo cual implica que el modelo es válido y útil para predecir las proporciones de los materiales del concreto bajo las condiciones locales de Ayacucho.

Análisis sustentado con métricas del modelo RNA:

Los resultados del entrenamiento modelo RNA seleccionado (“Mi_Red_23_30-Apr-2025_12-50-18”) muestran un coeficiente de determinación promedio global de $R^2 = 0.9996638$, lo cual indica un ajuste prácticamente perfecto entre los valores reales y pronosticados. Además, el error relativo promedio fue de tan solo 1.1656%, lo cual respalda el alto grado de precisión del modelo.

Métrica	Valor	Interpretación
Error Cuadrático Medio (MSE)	0.00007899	Error muy bajo.
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0.00888778	Desviación mínima.
Coeficiente de Correlación (R)	0.99982099	Correlación excelente.
Coeficiente de Determinación (R^2)	0.99961923	Ajuste casi perfecto.
Error Absoluto Medio (MAE)	0.00305806	Alta precisión.
Tiempo de entrenamiento	4.577 s	Entrenamiento rápido.
Número de épocas	169	Convergencia adecuada.

Nota: **Tabla 23** Resultados del entrenamiento del modelo de RNA en NeuroMAT Toolbox v1.0

Métricas globales del modelo RNA:

Métrica	Valor	Descripción
R (Correlación)	0.9947	Alta correlación real–predicho
R^2 (Determinación)	0.9895	98.95 % de varianza explicada
MAPE (%)	0.9175	Error medio relativo muy bajo
Máx. error relativo (%)	4.02	En agregado grueso (CM1); dentro del 5 % técnico
MSE (kg^2/m^6)	82.123	Error cuadrático medio moderado
RMSE (kg/m^3 o l/m^3)	7.2962	Desviación media aceptable
MAE (kg/m^3 o l/m^3)	5.8112	Alta precisión promedio
NSE	0.9784	Excelente eficiencia predictiva

Nota: **Tabla 38** Comparación de desempeño global promedio: RNA vs RLMM

Estas métricas demuestran un ajuste sólido y consistente entre los valores predichos y observados durante la fase de validación externa. El modelo explica el 98.95 % de la variabilidad total ($R^2 = 0.9895$) y presenta una correlación muy alta ($R = 0.9947$), con errores relativos menores al 5 %, lo cual cumple con los criterios técnicos exigidos en el diseño de mezclas de concreto.

Contraste contra el modelo RLMM (ver Tabla 38):

Métrica	RNA	RLMM	% Mejora
RMSE (kg/m^3)	7.2962	8.9988	18.9
MAE (kg/m^3)	5.8112	7.1890	19.2
MSE (kg^2/m^6)	82.123	97.3545	15.6
MAPE (%)	0.9175	1.4130	35.1
R (Correlación)	0.9947	0.9747	2.1
R^2 (Determinación)	0.9895	0.9507	4.1
Nash-Sutcliffe (NSE)	0.9784	0.9413	3.9

Nota: **Tabla 38** Comparación de desempeño global promedio: RNA vs RLMM

Variable	R^2 RNA	R^2 RLMM	MAPE (%) RNA	MAPE (%) RLMM	Mejora/disminución (%)
Cemento	0.9835	0.8744	1.0131%	2.6201 %	61.33% de mejora
Agregado fino	0.9910	0.9468	0.9263%	1.2075 %	23.29% de mejora
Agregado grueso	0.9840	0.9941	1.4162%	0.9577 %	47.88% de disminución (mejor el RLMM)
Agua	0.9995	0.9876	0.3143%	0.8668 %	63.73% de mejora

Nota: **Tabla 36** Métricas de validación externa por variable para el modelo RNA*;* **Tabla 37** Métricas de validación externa por variable para el modelo RLMM.

Conclusión: La contrastación de la hipótesis general permitió rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1), al demostrarse que el modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) mejora significativamente la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto en Ayacucho. El modelo alcanzó un coeficiente de determinación promedio de $R^2 = 0.9895$ y un coeficiente de correlación $R = 0.9947$, indicando una relación altamente positiva entre los valores reales y los pronosticados. Además, presentó un MAPE global de solo 0.9175%, valor considerablemente inferior al umbral técnico del 5%. En comparación con el modelo estadístico RLMM, el RNA mostró mejoras del 18.9% en RMSE, 19.2% en MAE, 15.6% en MSE y 35.1% en MAPE. A nivel de variables, el RNA superó al RLMM en tres de cuatro casos: cemento (61.33% de mejora), agregado fino (23.29%) y agua (63.73%). Aunque el RLMM fue ligeramente más preciso en agregado grueso, esta diferencia no compromete la solidez global del modelo RNA. Por tanto, se concluye que el modelo RNA es válido, confiable y aplicable al diseño de mezclas bajo condiciones locales.

4.3. Contrastación de las hipótesis específicas

4.3.1. Hipótesis específica 1

El modelo predictivo con redes neuronales artificiales estima las dosificaciones del concreto eficazmente con un 95% de confianza.

Hipótesis estadística:

- H_0: El modelo no mejora significativamente la estimación de los materiales del concreto ($p \geq 0.05$).
- H_1: El modelo mejora significativamente la estimación de los materiales del concreto ($p < 0.05$), alcanzando un nivel de ajuste superior al 95%.

Análisis sustentado:

Para validar esta hipótesis, se observa en la **Tabla 28** donde se muestra resultados los coeficientes de determinación (R^2) del modelo RNA fueron:

Variable	R^2	R^2 (%)	MAPE (%)	Interpretación clave
Cemento (kg/m³)	0.9835	98.35	1.0131	Alta precisión con ligera subestimación en valores altos.
Agregado fino (kg/m³)	0.9910	99.10	0.9263	Excelente ajuste con leve sobreestimación en valores altos.
Agregado grueso (kg/m³)	0.9840	98.40	1.4162	Ajuste excelente; ligera subestimación en valores altos.
Agua (l/m³)	0.9995	99.95	0.3143	Precisión muy alta, desempeño excepcional en predicción.
Promedio global	0.9895	98.95	0.9175	Alto desempeño general del modelo con excelente precisión y bajo error.

Nota: **Tabla 28** Resumen de métricas de desempeño del modelo RNA; **Tabla 27** Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones reales y pronosticadas por el modelo de RNA

Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), dado que el modelo de RNA alcanzó un coeficiente de determinación promedio de $R^2 = 98.95\%$, un coeficiente de correlación global de $R = 0.9947$, y un MAPE global de 0.9175%, con errores individuales en todas las variables menores al 5%. Esto demuestra que el modelo presenta alta precisión y confiabilidad en la predicción de las dosificaciones de materiales para mezclas de concreto. Además, su validación con datos reales de canteras locales confirma su aplicabilidad práctica en Ayacucho, cumpliendo con los estándares técnicos exigidos.

4.3.2. Hipótesis específica 2

El uso de una base de datos histórica mejora significativamente la precisión en la predicción de las dosificaciones del concreto.

Formalización estadística:

- H_0: La calidad de los resultados no depende significativamente de la disponibilidad de datos históricos.
- H_1: Los resultados obtenidos mediante modelos predictivos son significativamente óptimos incluso a partir de una base de datos histórica limitada.

Análisis sustentado:

La contrastación de esta hipótesis se basa en los siguientes análisis que se encuentran en las tablas del documento. A pesar de contar con una base de datos histórica limitada, compuesta por 18 variables de entrada derivadas de registros locales (incluyendo características físicas,

granulométricas y mecánicas de los materiales ver la **Tabla 2**), el modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) logró un desempeño sobresaliente.

Tabla	Descripción	Uso principal
Tabla 23	Resultados del entrenamiento del modelo de RNA en NeuroMAT Toolbox v1.0	Se obtuvieron métricas como R = 0.9998, R^2 = 0.9996, MAE = 0.0031, MSE = 0.00007899 y 169 épocas, lo cual refleja alta eficiencia incluso con datos históricos.
Tabla 27	Error absoluto y error porcentual entre dosificaciones reales y pronosticadas por el modelo de RNA	Se determinó un error relativo porcentual promedio (MAPE) de 0.9175% y un error porcentual máximo de 4.02%, ambos dentro del rango aceptable (< 5%).
Tabla 28	Desempeño del modelo RNA en la predicción de materiales del concreto	Se reporta un coeficiente de determinación promedio R^2 = 0.9895, lo que confirma el alto poder explicativo del modelo aun con datos previos.

Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), dado que el modelo basado en redes neuronales artificiales demostró alta precisión incluso usando una base de datos histórica limitada. Alcanzó un coeficiente de determinación promedio de R^2 = 0.9895 en validación externa, un R^2 = 0.9996 durante el entrenamiento, y un MAPE global de 0.9175%, con errores siempre menores al 5%. Además, el modelo se entrenó eficientemente en solo 169 épocas y 4.577 segundos, confirmando su capacidad predictiva y operativa sin necesidad de recopilar nuevos volúmenes de datos experimentales. Por lo tanto, se valida la Hipótesis Específica 2.

4.3.3. Hipótesis específica 3

El modelo de redes neuronales artificiales predice las dosificaciones del concreto con alta precisión, mostrando errores relativos porcentuales promedios inferiores al 5%.

Formalización estadística:

- H_0: El modelo basado en redes neuronales artificiales no opera dentro del margen técnicamente aceptable del 5 % de error relativo promedio ($p \geq 0.05$).
- H_1: El modelo basado en redes neuronales artificiales opera dentro del margen técnicamente aceptable del 5 % de error relativo promedio ($p < 0.05$), lo cual implica que sus predicciones son altamente precisas y viables para aplicaciones civiles.

Análisis sustentado:

Para validar esta hipótesis, se evaluaron los errores absolutos (EA) y relativos porcentuales (EP%) comparando los valores reales y los pronosticados por el modelo RNA, para las variables: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. Los datos provienen de la **Tabla 27**, y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 43

Cuadro resumen del Error Relativo Porcentual promedio (MAPE) y EP (%) máximo

Variable	MAPE (%)	Interpretación	Máximo EP (%)	Fuente
Cemento	1.0131	Precisión muy alta.	1.8959	**Tabla 27**– Muestra CM1
Agregado Fino	0.9263	Precisión excelente.	1.7948	**Tabla 27**– Muestra CM2
Agregado Grueso	1.4162	Precisión muy alta, con ligeros desvíos.	4.0219	**Tabla 27**– Muestra CM1
Agua	0.3143	Precisión excelente.	0.7807	**Tabla 27**– Muestra MM1
Promedio global	0.9175	Modelo con excelente precisión en general.	2.1233	**Tabla 27**

Nota: **Tabla 27** Error absoluto y error relativo porcentual promedio entre dosificaciones reales y pronosticadas por el modelo de RNA

Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), dado que el modelo de redes neuronales artificiales (RNA) opera dentro del margen técnicamente aceptable del 5% de error relativo. El MAPE promedio global fue de 0.9175%, con errores porcentuales máximos que no superaron el 4.03% en ninguna variable, lo que confirma su alta precisión en la estimación de dosificaciones. Por tanto, se valida la Hipótesis Específica 3, demostrando que el modelo RNA presenta una capacidad predictiva robusta y confiable para el diseño de mezclas de concreto en Ayacucho.

4.3.4. Hipótesis específica 4

Las redes neuronales artificiales presentan menor error de predicción que el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en la estimación de las dosificaciones del concreto, con un nivel de confianza del 95 %.

Formalización estadística:

- H_0: No existen diferencias significativas entre la precisión de los modelos RNA y RLMM.

- H_1: Las predicciones del modelo RNA son significativamente más precisas que las del RLMM ($p < 0.05$), demostrando menor error absoluto medio (MAE), menor error cuadrático medio (MSE) y mayor coeficiente de correlación (R).

Análisis sustentado:

Antes de comparar técnicamente ambos modelos, se validó que el modelo RLMM sea estadísticamente sólido. Como se muestra en la **Tabla 30** y **Tabla 31** del **Capítulo III**, el RLMM fue significativo según los análisis ANOVA y MANOVA, cumpliendo los siguientes criterios:

- Todos los coeficientes fueron significativos ($p < 0.001$).
- Los residuos satisfacen los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia.

Esto permite su uso como base comparativa frente al modelo RNA. La comparación se realizó a partir de métricas globales de desempeño:

Cuadro comparativo de desempeño global: RNA vs RLMM

Métrica	RNA	RLMM	Mejora (%)	Resumen
RMSE	7.2962	8.9988	18.9	Mayor precisión del RNA
MAE	5.8112	7.1890	19.2	RNA más exacto
MSE	82.123	97.3545	15.6	Error global significativamente menor
MAPE (%)	0.9175	1.4130	35.1	RNA más consistente
R (Correlación)	0.9947	0.9747	2.1	Mejor correlación
R^2 (Determinación)	0.9895	0.9507	4.1	Mayor capacidad explicativa
Nash-Sutcliffe (NSE)	0.9784	0.9413	3.9	RNA más confiable

Nota: **Tabla 38** Comparación de desempeño global promedio: RNA vs RLMM

Los resultados muestran que, en todas las métricas globales evaluadas, el modelo RNA supera significativamente al RLMM. Esta superioridad se refleja especialmente en los errores (RMSE, MAE, MSE, MAPE), con mejoras que oscilan entre el 15.6 % y 35.1 %. Asimismo, los coeficientes de correlación, determinación y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) confirman que el RNA presenta una capacidad explicativa y de ajuste superior, con una confiabilidad global más robusta.

A continuación, se presenta un análisis detallado por cada uno de los materiales del concreto:

Variable	R^2 RNA	R^2 RLMM	MAPE (%) RNA	MAPE (%) RLMM	Mejora relativa del RNA (%)
Cemento	0.9835	0.8744	1.0131	2.6201	+61.33% mejora del RNA
Ag. Fino	0.9910	0.9468	0.9263	1.2075	+23.29% mejora del RNA
Ag. Grueso	0.9840	0.9941	1.4162	0.9577	-47.88% (mejor desempeño RLMM)
Agua	0.9995	0.9876	0.3144	0.8668	+63.73% mejora del RNA

Nota: **Tabla 36** Métricas de validación externa por variable para el modelo RNA*;* **Tabla 37** Métricas de validación externa por variable para el modelo RLMM.

La columna “Mejora relativa del RNA respecto al RLMM (%)” indica cuánto mejora (o empeora) el modelo RNA en comparación con el RLMM, según el MAPE de cada variable. Se calculó mediante la fórmula **(31)**. En tres de las cuatro variables, el RNA mostró mayor precisión; solo en agregado grueso, el RLMM fue ligeramente superior.

Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), ya que, con un nivel de confianza del 95 %, el modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) demostró un desempeño significativamente superior al modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en la predicción de dosificaciones de concreto. En la comparación global, el RNA presentó errores más bajos (MAE, MSE, RMSE y MAPE), así como mejores indicadores de ajuste y precisión ($R = 0.9947$, $R^2 = 0.9895$ y NSE = 0.9784). A nivel de variables, logró mejoras relativas de hasta 63.73 % en agua, 61.33 % en cemento y 23.29 % en agregado fino. Aunque el RLMM tuvo un leve mejor desempeño en agregado grueso, esto no compromete la superioridad general del RNA. Con un ajuste promedio de $R^2 = 0.9895$ y un MAPE global de solo 0.9175 %, el modelo RNA demuestra alta precisión, robustez y aplicabilidad para el diseño técnico de mezclas de concreto en Ayacucho. Por lo tanto, se valida la Hipótesis Específica 4, consolidando al RNA como una herramienta predictiva más confiable.

4.4. Análisis global de validación

El análisis global de validación tiene como propósito sintetizar los resultados obtenidos durante la contrastación de todas las hipótesis planteadas, verificando el desempeño técnico del modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) frente al modelo RLMM, así como su capacidad predictiva bajo condiciones locales de Ayacucho, Perú, 2024.

4.4.1. Síntesis de aceptación de todas las hipótesis

La contrastación estadística de la hipótesis general y las cuatro hipótesis específicas permitió validar el desempeño del modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) en el diseño de mezclas de concreto bajo condiciones locales de Ayacucho, 2024.

Hipótesis	Planteamiento	Decisión
Hipótesis General	El modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales permite optimizar significativamente la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales de Ayacucho (2024).	**Se acepta H_1** – El modelo RNA explicó el 98.95 % de la variabilidad total (R^2 = 0.9895) y obtuvo un MAPE global de 0.9175 % (< 5 %), con mejoras del 31.6 % al 63.73 % en tres de las cuatro variables frente al modelo RLMM, lo que evidencia su superioridad predictiva.
Hipótesis Específica 1	El modelo predictivo con redes neuronales artificiales estima las dosificaciones del concreto eficazmente con un 95% de confianza.	**Se acepta H_1** – El modelo alcanzó coeficientes de determinación entre 98.35 % (cemento) y 99.95 % (agua), con un desempeño global de R^2 = 98.95 % y errores inferiores al 5 %.
Hipótesis Específica 2	El uso de una base de datos histórica mejora significativamente la precisión en la predicción de las dosificaciones del concreto.	**Se acepta H_1** – A pesar de usar una base histórica limitada, el RNA logró R^2 = 0.9996 en entrenamiento y 0.9895 en validación externa, con un MAPE global de 0.9175% y un tiempo de cómputo bajo (4.577 s; 169 épocas), demostrando su eficacia incluso sin datos nuevos.
Hipótesis Específica 3	El modelo de redes neuronales artificiales predice las dosificaciones del concreto con alta precisión, mostrando errores relativos porcentuales promedios inferiores al 5%.	**Se acepta H_1** – El modelo alcanzó un MAPE promedio global de 0.9175% y un error máximo del 4.02%, confirmando su operación dentro del umbral técnico (< 5%) y su confiabilidad para el diseño de mezclas.
Hipótesis Específica 4	Las redes neuronales artificiales presentan menor error de predicción que el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en la estimación de las dosificaciones del concreto, con un nivel de confianza del 95 %.	**Se acepta H_1** – El RNA superó al RLMM en 6 de 7 métricas globales, con mejoras de hasta 63.73% en MAPE (agua), un R^2 promedio de 0.9895, y un NSE de 0.9784. Aunque el RLMM tuvo mejor rendimiento en agregado grueso, la superioridad general del RNA es clara, validando su mayor precisión predictiva.

4.4.2. Relación con estudios previos

Los hallazgos obtenidos son coherentes con investigaciones internacionales en el campo del modelado predictivo aplicado al diseño de mezclas de concreto **(Adil et al., 2022; Das et al., 2015; Kabir & Hasan, 2013; Oh et al., 1999)** donde se destaca el uso de inteligencia artificial como herramienta innovadora en ingeniería civil para mejorar la precisión técnica en dosificaciones de materiales.

Este trabajo refuerza dichos hallazgos, adaptándolos a un contexto poco explorado como es la región de Ayacucho, Perú, y demostrando que el modelo RNA puede aplicarse eficazmente con una base de datos histórica limitada, sin requerir nuevos ensayos costosos ni extensos. Además, se confirmó la viabilidad metodológica del modelo, con errores relativos menores al 5% y validez técnica comprobada.

Los análisis ANOVA y MANOVA del modelo RLMM, junto con los gráficos Q-Q Chi-cuadrado, residuos vs valores ajustados y correlación serial (**Figura 47**, **Figura 48** y **Figura 49**), validaron la solidez estadística del modelo tradicional, lo cual permite afirmar que la comparación RNA vs RLMM es metodológicamente justa y válida.

4.5. Conclusión del capítulo

El modelo de RNA demostró un desempeño altamente eficiente en la predicción de las dosificaciones del concreto, superando al modelo de RLMM en tres de las cuatro variables analizadas. El RNA alcanzó un coeficiente de determinación promedio de $R^2 = 0.9895$ y un error relativo porcentual promedio (MAPE) de solo 0.9175%, valores que evidencian su alta precisión bajo condiciones locales de Ayacucho. En las variables cemento, agregado fino y agua, el RNA presentó mejoras relativas del 61.33%, 23.29% y 63.73%, respectivamente, en comparación con el RLMM. Solo en agregado grueso el RLMM obtuvo un mejor resultado (MAPE = 0.9577% frente a 1.4162% del RNA), aunque esta diferencia no afectó la solidez global del modelo. La validación se sustentó en métricas reconocidas como RMSE (7.2962), MAE (5.8112) y NSE (0.9784), respaldan su confiabilidad. Estos resultados confirman que el uso de inteligencia artificial es una alternativa técnica y aplicable para optimizar el diseño de mezclas de concreto, especialmente en contextos con bases de datos limitadas. Este avance sienta las bases para el **Capítulo V**, donde se presentarán las conclusiones generales y recomendaciones prácticas.

Capítulo V

5. Conclusiones

5.1. Conclusión general

La presente investigación cumplió satisfactoriamente con el objetivo general, al desarrollar un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales (RNA) que optimiza la dosificación de materiales en el diseño de mezclas de concreto, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales de la ciudad de Ayacucho durante el año 2024. El modelo final, estructurado con una arquitectura 18-11-12-4 compuesta por 18 variables de entrada, dos capas ocultas (11 y 12 neuronas) y cuatro salidas y entrenado con 806 registros experimentales, demostró una capacidad predictiva sobresaliente, validada con 15 muestras reales no vistas. Alcanzó coeficientes de determinación (R^2) superiores al 98.35 % en todas las variables de salida, con un máximo de 0.9995 en el contenido de agua. El modelo alcanzó un error porcentual absoluto medio (MAPE) global de 0.9175 % y un error porcentual máximo de 4.02 % en el agregado grueso, ambos dentro del umbral técnico aceptable (< 5 %). Asimismo, registró un coeficiente de determinación promedio de $R^2 = 0.9895$ y un coeficiente de correlación $R = 0.9947$, lo que evidencia su alta precisión predictiva. En comparación con el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM), la RNA mostró mejor desempeño en todas las métricas. Además, el análisis de concordancia mediante gráficos de Bland-Altman evidenció alineación práctica con el método ACI 211.1, validando su aplicabilidad técnica y normativa en el entorno local de Ayacucho.

5.2. Conclusiones específicas

1. Se analizó la contribución del modelo de redes neuronales artificiales (RNA) en la estimación de las dosificaciones del concreto, evidenciando un desempeño altamente preciso. El modelo alcanzó coeficientes de determinación (R^2) de 0.9835 para el cemento, 0.9910 para el agregado fino, 0.9840 para el agregado grueso y 0.9995 para el agua, con un ajuste promedio de $R^2 = 0.9895$ (98.95 %). Asimismo, los errores porcentuales medios absolutos (MAPE) fueron de 1.0131 %, 0.9263 %, 1.4162 % y 0.3143 %, respectivamente, con un valor global de 0.9175 %. Todos los indicadores se ubicaron por debajo del umbral técnico aceptable (< 5 %), lo que valida la capacidad del modelo para predecir con alta fidelidad las dosificaciones del concreto.
2. El modelo de red neuronal artificial (RNA) demostró su viabilidad utilizando una base de datos de 806 registros de diseños de mezcla de concreto, conformada por 18 variables de entrada y 4 de salida. Pese a la limitación en la cantidad de datos, alcanzó

un coeficiente de determinación de R^2 = 99.96 % en el entrenamiento, un R^2 promedio de 98.95 % en la validación externa y un MAPE global de 0.9175 %, con errores siempre menores al 5 %. Además, el entrenamiento fue eficiente (169 épocas en 4.577 s), confirmando su precisión, capacidad predictiva y aplicabilidad práctica.

3. El modelo RNA alcanzó un MAPE de 1.01 % para cemento, 0.93 % para agregado fino, 1.42 % para agregado grueso y 0.31 % para agua, con un promedio global de 0.9175 %, cumpliendo ampliamente el criterio de alta precisión (error < 5 %). Además, los valores de R superaron 0.9917, evidenciando alta precisión y confiabilidad predictiva.
4. El análisis comparativo entre la RNA y el RLMM evidenció la superioridad de la RNA en ajuste y precisión. Alcanzó un R^2 promedio de 0.9895 frente a 0.9507 del RLMM y un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.9784, superior al 0.9413 del RLMM, lo que demuestra mayor capacidad predictiva. Asimismo, presentó menores errores en MSE, RMSE, MAE y un MAPE global de 0.9175 %. La RNA superó al RLMM en tres de las cuatro variables analizadas, con mejoras relativas de hasta 63.73 %, destacando en agua, cemento y agregado fino. Estos resultados confirman que la RNA es más precisa, robusta y confiable para la dosificación de concreto en Ayacucho.

5.3. Recomendaciones.

1. Incorporar nuevas variables en el modelo predictivo: Se recomienda incluir en futuras versiones del modelo parámetros adicionales, tales como tipo de cemento, condiciones ambientales durante el vaciado, tiempo de curado y aditivos químicos, para mejorar aún más la precisión del sistema predictivo.
2. Incentivar la recopilación sistemática y estandarizada de datos experimentales provenientes de ensayos de laboratorio, con el objetivo de ampliar y mejorar la base de datos histórica, lo cual incrementaría la robustez y precisión de futuros modelos predictivos.
3. Realizar validaciones experimentales posteriores: Aunque esta investigación incluyó validación externa con diseños y ensayos de compresión, se requieren estudios adicionales que contrasten predicciones del modelo con pruebas físicas en laboratorio, garantizando su confiabilidad técnica.
4. Integrar el modelo desarrollado en una interfaz amigable o sistema informático accesible, que facilite su aplicación por parte de ingenieros y técnicos en obra, sin necesidad de conocimientos avanzados en programación o modelamiento estadístico.

5.4. Trabajos futuros

1. Investigar la influencia de la cantidad de neuronas y la configuración de capas ocultas en la estructura de la red neuronal artificial aplicada al diseño de mezclas del concreto, con el objetivo de identificar configuraciones óptimas que maximicen la precisión del modelo predictivo y reduzcan el error de estimación en distintas condiciones de entrada.
2. Optimizar el diseño de mezclas de concreto utilizando redes neuronales, Random Forest y algoritmos avanzados como Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM y máquinas de vectores de soporte. Este enfoque permitirá determinar dosificaciones óptimas considerando resistencia, costo y sostenibilidad, transformando modelos predictivos en soluciones prescriptivas aplicables a la planificación y ejecución de obras de infraestructura.
3. Extensión del modelo predictivo a otros tipos de concreto, tales como el concreto de alta resistencia, concreto ligero, concreto con adiciones especiales como cenizas volantes o humo de sílice y concreto autocompactante, con el propósito de ampliar su campo de aplicación y validar su efectividad en mezclas con diferentes características físico-químicas.
4. Desarrollar modelos híbridos que integren redes neuronales con algoritmos como Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM y máquinas de vectores de soporte (SVM). Esta combinación busca mejorar la precisión predictiva, la generalización ante datos complejos y la robustez frente a variabilidad, permitiendo evolucionar hacia esquemas inteligentes aplicables al diseño de mezclas de concreto en proyectos de infraestructura.
5. Aplicación de técnicas de aprendizaje profundo (Deep Learning): Probar arquitecturas más complejas de redes neuronales, como las redes neuronales convolucionales (CNN) o recurrentes (RNN), para modelar relaciones aún más complejas entre los componentes del concreto y sus propiedades finales.

Referencias bibliográficas

Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnologia Del Concreto*. Editorial San Marcos. Lima–Perú. https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto

Adeli, H., & Park, H. S. (1995). A neural dynamics model for structural optimization—Theory. *Computers & Structures*, *57*(3), 383-390. https://doi.org/10.1016/0045-7949(95)00048-L

Adil, M., Ullah, R., Noor, S., & Gohar, N. (2022). Effect of number of neurons and layers in an artificial neural network for generalized concrete mix design. *Neural Computing and Applications*, *34*(11), 8355-8363. https://doi.org/10.1007/s00521-020-05305-8

Akkurt, S., Ozdemir, S., Tayfur, G., & Akyol, B. (2003). The use of GA–ANNs in the modelling of compressive strength of cement mortar. *Cement and Concrete Research*, *33*(7), 973-979. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00006-1

Alvarado, Y., & Gonzalo, A. (2022). *Modelos predictivos de la resistencia del hormigón mediante estadística y redes neuronales artificiales*. https://riunet.upv.es/handle/10251/190583

Anyosa Chuchón, S. (2018). Determinación de la resistencia del concreto simple en tiempo real. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3258

Armstrong, J. S., & Collopy, F. (1992). Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons. *International Journal of Forecasting*, *8*(1), 69-80. https://doi.org/10.1016/0169-2070(92)90008-W

Bartz, R. (2016). *(4) Diseño de mezclas de concreto | LinkedIn*. https://www.linkedin.com/pulse/dise%C3%B1o-de-mezclas-concreto-rodrigo-coelho-bartz/?originalSubdomain=es

Becerra Guevara, R. L. (2014). *Modelo neuronal de demanda de transporte en redes viales urbanas* [Universidad Nacional de Ingeniería]. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/2539

Bridge, T. (2025, enero 13). Modelos predictivos: Qué son y sus aplicaciones en Data Science. *The Bridge | Digital Talent Accelerator*. https://thebridge.tech/blog/modelos-predictivos

Chen, H. M., Tsai, K. H., Qi, G. Z., Yang, J. C. S., & Amini, F. (1995). Neural Network for Structure Control. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *9*(2), 168-176. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1995)9:2(168)

Chen, S. S., & Shah, K. (1992). Neural networks in dynamic analysis of bridges. *Computing in Civil Engineering and Geographic Information Systems Symposium*, 1058-1065.

Cunza Macutela, D., & Mollinedo Sucñier, J. E. (2021). Aplicación de redes neuronales en el diseño Optimo de concreto en la reducción del Cemento Portland Cusco 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65977

Dahlke, J. (2024). *A.I. go by many names: Towards a sociotechnical definition of artificial intelligence* (arXiv:2410.13452). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.13452

Das, S., Pal, P., & Singh, R. M. (2015). *Prediction of Concrete Mix Proportion using ANN Technique*. *02*(05).

Data, sitio big. (2019, diciembre 24). Funciones de pérdida en Machine Learning. *sitiobigdata.com*. https://sitiobigdata.com/2019/12/24/funciones-comunes-de-perdida-en-el-aprendizaje-automatico/

Díaz Tello, M. H. (2017). Uso de las redes neuronales artificiales en el modelado del ensayo de resistencia a compresión de concreto de construcción según la norma ASTM C39/C 39M. *Universidad Nacional de Cajamarca*. http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1020

Dinesh, A., Karthick, A., Anitha Selvasofia, S. D., Shalini, S., & Indhuja, A. (2023). Prediction of strength characteristics of cement composite using artificial neural network. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.652

Doğan, N. Ö. (2018). Bland-Altman analysis: A paradigm to understand correlation and agreement. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, *18*(4), 139-141. https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.09.001

edX. (2023). *Aprende sobre modelado predictivo con cursos online*. edX. https://www.edx.org/es/aprende/modelo-predictivo

Flores Huamaní, S. (2024a). *Apuntes de clase del Curso: Inferencia multivariada*. 16.

Flores Huamaní, S. (2024b). *Regresión lineal múltiple multivariada*. 71.

Ghaboussi, J., Garrett, J. H., & Wu, X. (1991). Knowledge-Based Modeling of Material Behavior with Neural Networks. *Journal of Engineering Mechanics*, *117*(1), 132-153. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1991)117:1(132)

Giraldo Bolívar, O. (1987). *Guía Práctica para el diseño de Mezclas de Hormigón (Concreto).pdf*. Google Docs. https://drive.google.com/file/u/1/d/1dL3QN9FtYTIcezAfvzB_sixoe52Gowg6/view?usp=sharing&usp=embed_facebook

Gómez, N., López, L., Albert, A., & Llamas, J. (2020). Image Classification with Convolutional Neural Networks Using Gulf of Maine Humpback Whale Catalog. *Electronics*, *9*, 731. https://doi.org/10.3390/electronics9050731

Gozanlez Gaspar, C. J. (2018). *Análisis de la resistencia del concreto mediante redes neuronales haciendo uso del agregado de la cantera Santa Rosa Huancavelica*. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2127

Gutiérrez Díaz, A. (2015). Bases de datos. *Centro Cultural Itaca SC*. https://cursos.aiu.edu/Base%20de%20Datos/pdf/Tema%201.pdf

Hagan, M. T., & Menhaj, M. B. (1994). Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, *5*(6), 989-993. IEEE Transactions on Neural Networks. https://doi.org/10.1109/72.329697

Heaton, J. (2018). Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, *19*(1), 305-307. https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z

Hemingway. (2023). *Aprendiendo Inteligencia Artificial: ¿Qué es la función de pérdida?* Fundamentos de Inteligencia Artificial. https://forum.huawei.com/enterprise/es/aprendiendo-inteligencia-artificial-%C2%BFqu%C3%A9-es-la-funci%C3%B3n-de-p%C3%A9rdida/thread/667225173637611520-667212895009779712

Hertz, J., Krogh, A., & Palmer, R. G. (1991). *Introducción a la teoría de la computación neural*. California: Addison-Wesley, Redwood City.

Hilera, J., & Martinez Hernando, V. (1995). Redes neuronales artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones / José Ramón Hilera González, Victor José Martínez Hernando. En *SERBIULA (sistema Librum 2.0)*.

Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, *22*(4), 679-688. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001

IBM. (2023). *¿Qué es machine learning?* | *IBM*. https://www.ibm.com/es-es/topics/machine-learning

Iglesias Lorenzo, J. (2004). Diseño de un rele neuronal de protección para lineas aéreas de AT con preprocesado de señal mediante la transformada Wavelet [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93601

Jamal, A. S., & Ahmed, A. N. (2025). Estimating compressive strength of high-performance concrete using different machine learning approaches. *Alexandria Engineering Journal*, *114*, 256-265. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.11.084

Ji-Zong, W., Hong-Guang, N., & Jin-Yun, H. (1999). The application of automatic acquisition of knowledge to mix design of concrete. *Cement and Concrete Research*, *29*(12), 1875-1880. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00152-0

Joaquin, A. M., & Ezequiel, U. J. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R. 2ª ed.* Ediciones Paraninfo, S.A.

Jory Rubilar, M. E. (2007). *Predicción de las variaciones de costos para proyectos de construcción utilizando redes neuronales*. Tesis ingeniero civil--Universidad de Chile.

Kabir, A., & Hasan, M. (2013, marzo 5). *Artificial Neural Network for Concrete Mix Design*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1173.6162

Kalirane, M. (2023, enero 2). Gradient Descent vs. Backpropagation: What's the Difference? *Analytics Vidhya*. https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/01/gradient-descent-vs-backpropagation-whats-the-difference/

Kolassa, S., & Schütz, W. (2007). Advantages of the MAD/mean ratio over the MAPE. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*, *6*, 40-43.

Krittanawong, C., Johnson, K., Rosenson, R., Wang, Z., Aydar, M., Baber, U., Min, J., Tang, W., Halperin, J., & Narayan, S. (2019). Deep learning for cardiovascularmedicine: A practical primer. *European heart journal*, *40*. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz056

Lao León, Y. O., Rivas-Méndez, A., Pérez-Pravia, M. C., & Marrero-Delgado, F. (2017). Procedimiento para el pronóstico de la demanda mediante redesneuronales artificiales. *Ciencias Holguín*, *23*(1), 43-59.

Liu, S., Chang, R., Zuo, J., Webber, R. J., Xiong, F., & Dong, N. (2021). Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: Current Status and Future Directions. *Applied Sciences*, *11*(20), Article 20. https://doi.org/10.3390/app11209616

Loayza Cáceres, F., & Ramos Butrón, A. G. (2023). Uso de redes neuronales artificiales para determinar una nueva alternativa de método de diseño de mezcla de concreto de resistencias convencionales en la ciudad de Arequipa 2022. *Universidad Católica de Santa María*. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12366

López Domínguez, M. X., & Ontaneda Culqui, J. R. (2021). *Diseño de mezclas de hormigón aplicando redes neuronales artificiales para diferentes agregados del cantón Quito, provincia de Pichincha* [bachelorThesis, Quito : UCE]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24621

López, R. F., & Fernández, J. M. F. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales*. Netbiblo.

Lorenzo. (2023). *7. Entrenamiento de redes neuronales a) Funciones de coste [logongas]*. https://logongas.es/doku.php?id=clase:iabd:pia:2eval:tema07

Lourakis, M. I. A. (2005). *A Brief Description of the Levenberg-Marquardt Algorithm Implemented by levmar*. https://www.semanticscholar.org/paper/A-Brief-Description-of-the-Levenberg-Marquardt-by-Lourakis/a92844ea0726e0ebb3fdf99b070d1e8e289eb97f

Maren, A. J., Harston, C. T., & Pap, R. M. (2014). *Handbook of Neural Computing Applications*. Academic Press.

Martin Bland, J., & Altman, DouglasG. (1986). STATISTICAL METHODS FOR ASSESSING AGREEMENT BETWEEN TWO METHODS OF CLINICAL MEASUREMENT. *The Lancet*, *327*(8476), 307-310. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8

Martín del Brío, B., & Sanz Molina, A. (2007). *Redes neuronales y sistemas difusos* (2ª ed). https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/handle/123456789/965

Martín del Brío, B., & Serrano Cinca, C. (1995). Fundamentos de las redes neuronales artificiales: Hardware y software. *Scire: Representación y organización del conocimiento, ISSN 1135-3716, Vol. 1, Nº 1, 1995, pags. 103-125*. https://doi.org/10.54886/scire.v1i1.1036

Mathworks. (2023). *MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico*. https://es.mathworks.com/products/matlab.html

MathWorks. (2023). *¿Qué es una red neuronal?- MATLAB & Simulink. © 1994-2023 The MathWorks, Inc.* https://es.mathworks.com/discovery/neural-network.html

MathWorks. (2024). *Trenlm*. https://es.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html?searchHighlight=M%C3%A9todo

%20de%20Levenberg-Marquardt&s_tid=srchtitle_support_results_1_M%25C3%25A9todo%20de%20Levenberg-Marquardt

MathWorks, s. f. (2025). *Deep Learning Toolbox*. https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/train-deep-neural-networks-using-custom-training-loops.html

Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. *Universidad Tecnológica Nacional, México*, *41*, 12-16.

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, *5*(4), 115-133. https://doi.org/10.1007/BF02478259

Minewiskan. (2023, mayo 8). *Algoritmo de red neuronal de Microsoft*. https://learn.microsoft.com/es-es/analysis-services/data-mining/microsoft-neural-network-algorithm?view=asallproducts-allversions

Montaño Moreno, J. J. (2002). Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos [Ph.D. Thesis, Universitat de les Illes Balears]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. https://www.tdx.cat/handle/10803/9441

Morales Boada, C. (2018). *(4) Midiendo el error de un modelo predictivo: Las funciones de coste | LinkedIn*. https://www.linkedin.com/pulse/midiendo-el-error-de-un-modelo-predictivo-las-coste-morales-boada/?originalSubdomain=es

Ni, H.-G., & Wang, J.-Z. (2000). Prediction of compressive strength of concrete by neural networks. *Cement and Concrete Research*, *30*(8), 1245-1250. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00345-8

NTP 339.034. (2021). *Portal INACAL: CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Edición*. https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/misnormas.aspx

NTP 339.035. (2022). *Portal INACAL: CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Edición*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9473

NTP 339.185. (2021). *Portal INACAL: AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9219

NTP 400.012. (2021). *Portal INACAL: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9222

NTP 400.017. (2020). *Portal INACAL: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=8200

NTP 400.021. (2020). *Portal INACAL: AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.* https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=8601

NTP 400.022. (2021). *Portal INACAL: Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9223

NTP 400.037. (2021). *Portal INACAL: AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5a Edición*. https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9224

Oh, J., Lee, I., Kim, J., & Lee, G. (1999). Application of neural networks for proportioning of concrete mixes. *ACI Materials Journal*, *96*, 61-67.

Pal, C., Hagiwara, I., Kayaba, N., & Morishita, S. (1994). Dynamic System Identification by Neural Network: A New, Fast Learning Method Based on Error Back Propagation. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, *5*(1), 127-135. https://doi.org/10.1177/1045389X9400500116

Ponce Cruz, P. (2010). *Inteligencia Artificial. Con Aplicaciones a la Ingeniería* (1ª ed). © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Ranjithan, S., Eheart, J. W., & Garrett Jr., J. H. (1993). Neural network-based screening for groundwater reclamation under uncertainty. *Water Resources Research*, *29*(3), 563-574. https://doi.org/10.1029/92WR02129

Ríos Ramirez, R. R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción* (Primera Edición Digital). Servicios Académicos Intercontinentales SL. https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/index.html

Rivera, E. (2005). *Introducción a las Redes Neuronales Artificiales.* http://hdl.handle.net/11715/238

Rivva Lopez, E. (2007). *DISEÑO DE MEZCLAS*.

Rouhiainen, L. (2020). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro* (3ª ed). Alienta.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, *323*(6088), 533-536. https://doi.org/10.1038/323533a0

Sandoval Gil, A. J., & Bernabé Nuntón, J. M. (2021). *Aplicación de redes neuronales artificiales en el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto, utilizando agregados de la cantera Tres Tomas, distrito Mesones Muro—Provincia Ferreñafe—Región Lambayeque*. http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9896

Takeyas, B. L. (2007). *Introducción a la inteligencia artificial*. http://www. itnuevolaredo. edu. mx/takeyas.

Tofallis, C. (2015). A better measure of relative prediction accuracy for model selection and model estimation. *Journal of the Operational Research Society*, *66*(8), 1352-1362. https://doi.org/10.1057/jors.2014.103

Ullah, R., & Adil, M. (2017). *Strategy for development of a generalized Artificial Neural Network (ANN), model for mix design of concrete*.

Urbanowicz, R. J., & Moore, J. H. (2015). ExSTraCS 2.0: Description and evaluation of a scalable learning classifier system. *Evolutionary Intelligence*, *8*(2-3), 89-116. https://doi.org/10.1007/s12065-015-0128-8

Vannieuwenhuyze, A. (with ENI Biblioteca Online). (2020). *Inteligencia artificial fácil Machine Learning y Deep Learning prácticos*. ENI.

Vorobioff, J., Cerrotta, S., Eneas Morel, N., & Amadio, A. (2022). *Inteligencia artificial y redes neuronales. Fundamentos, ejercicios y aplicaciones con Python y Matlab*. edUTecNe. http://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/6113

Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, *30*(1), 79-82. https://doi.org/10.3354/cr030079

Wu, X., Ghaboussi, J., & Garrett, J. H. (1992). Use of neural networks in detection of structural damage. *Computers & Structures*, *42*(4), 649-659. https://doi.org/10.1016/0045-7949(92)90132-J

Yousif, S., Al-gburi, M., & Abdulkareem, O. (2010). *DESIGN OF CONCRETE MIXES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*.

Ziolkowski, P., & Niedostatkiewicz, M. (2019). Machine Learning Techniques in Concrete Mix Design. *Materials*, *12*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/ma12081256

Ziyad Sami, B. H., Ziyad Sami, B. F., Kumar, P., Ahmed, A. N., Amieghemen, G. E., Sherif, M. M., & El-Shafie, A. (2023). Feasibility analysis for predicting the compressive and tensile strength of concrete using machine learning algorithms. *Case Studies in Construction Materials*, *18*, e01893. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01893

Acrónimos

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

ACI: American Concrete Institute

ASTM: American Society for Testing and Materials

ANN: Artificial Neural Network (Red Neuronal Artificial)

RNA: Redes Neuronales Artificiales

IA: Inteligencia Artificial

NTP: Norma Técnica Peruana

TMN: Tamaño máximo nominal

MLP: Perceptrón multicapa

BP: Backpropagation

ANOVA: Análisis de Varianza

MANOVA: Análisis Multivariado de Varianza

MLR: Regresión lineal múltiple

MLRM: Regresión lineal múltiple multivariante

VD: Variables dependientes

VI: Variables independientes

APA: American Psychological Association

MATLAB: Matrix Laboratory (Lenguaje de programación técnico-científico)

MLP: Multilayer Perceptron (Perceptrón Multicapa)

ReLU: Rectified Linear Unit (Función de activación lineal rectificada)

UNSCH: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga

EA: Error Absoluto

ER: Error Relativo

ME: Media del Error o sesgo promedio

MAE: Mean Absolute Error (Error Absoluto Medio)

MSE: Mean Squared Error (Error Cuadrático Medio)

RMSE: Root Mean Squared Error (Raíz del Error Cuadrático Medio)

MAPE: Error Porcentual Absoluto Medio

EP%: Error Porcentual o Error Relativo Porcentual

Mejora (%): Mejora porcentual entre modelos

MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios

Glosarios

Redes Neuronales Artificiales (RNA): Modelos computacionales inspirados en la estructura y funcionamiento del cerebro humano, utilizados para el aprendizaje automático y la resolución de problemas complejos (Oh et al., 1999) y (Hilera & Martinez, 1995).

Diseño de mezclas de concreto: Proceso de determinar las dosificaciones óptimas, como cemento, agregados, agua y aditivos, para lograr las propiedades como son la resistencia, trabajabilidad, durabilidad y económico (Yousif et al., 2010) y (Das et al., 2015).

Machine Learning: Campo de la inteligencia artificial (IA) y la informática, que se dedica a emplear datos y algoritmos para replicar el proceso de aprendizaje humano, mejorando gradualmente su precisión con la experiencia (IBM, 2023).

Matlab: Entorno de programación utilizado para el desarrollo de algoritmos, análisis numérico y modelado, comúnmente empleado en la implementación y entrenamiento de redes neuronales.

Base de datos: Conjunto organizado de datos almacenados electrónicamente que sirve como referencia para análisis y toma de decisiones.

Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM): Técnica estadística que permite predecir varias variables dependientes a partir de múltiples variables independientes, bajo supuestos de linealidad.

Contraste y validación: Etapa del proceso que implica comparar las predicciones de las redes neuronales con datos reales no utilizados durante el entrenamiento, para evaluar su capacidad de generalización.

Propiedades de los agregados: Características físicas y químicas de los materiales pétreos utilizados en la fabricación del concreto, como forma, tamaño, textura, densidad y resistencia.

Diseño de mezclas: Proceso mediante el cual se determina la proporción óptima de los componentes del concreto (cemento, agua, agregados y aditivos) para cumplir con requisitos específicos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Validación del modelo: Proceso de evaluación del desempeño de un modelo predictivo (como una RNA o RLMM) utilizando un conjunto de datos diferente al de entrenamiento, para comprobar su capacidad de generalización.

Lista de símbolos

$f'c$	Resistencia de diseño	[Kg/cm^2]
fc	Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos	[Kg/cm^2]
C	Cantidad de cemento	[Kg]
α	Tasa de aprendizaje	
Λ	Lambda de Wilks	
V	Trazo de Pillai	
U	Trazo de Hotelling-Lawley	
Θ	Estadístico de Roy	
$x_j(t)$	Conjunto de entradas	
w_{ij}	Pesos sinápticos	
$f(\bullet)$	Función de activación de la neurona o función no lineal simple	
θ_i	"Umbral" de excitación llamado sesgo o bias.	
Pem	Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	[g/cm^3]
$PeSSS$	Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	[g/cm^3]
Pea	Peso específico aparente	[g/cm^3]
$Abs\ (\%)$	Absorción del agregado fino	[%]
S	Masa de la muestra de saturado superficialmente seca	[g]
P	Contenido total de humedad evaporable de la muestra	
$\boldsymbol{J}$	La matriz Jacobiana	
$\boldsymbol{E}$	Matriz de errores en la red	
μ	parámetro de amortiguamiento	
$\boldsymbol{H}$	Matriz Hessiana	
$\boldsymbol{\nabla E}$	Matriz de gradientes de los errores	
$\boldsymbol{\beta}$	Matriz de coeficientes estimados	

Anexo A

A. Matriz de consistencia, validación de instrumentos y confiabilidad de instrumento

A. 1. Matriz de consistencia

TÍTULO:		**Aplicación de las redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla del concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024**					
AUTOR:		**Ramos Cavalcanti, Julio Cesar**					
PROBLEMA		**OBJETIVO**	**HIPÓTESIS**	**VARIABLES**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**	**METODOLOGÍA**
PRINCIPAL	¿Cómo optimizar la dosificación de materiales en el **diseño de mezclas de concreto** mediante un modelo predictivo basado en **redes neuronales artificiales**, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales disponibles en la ciudad de Ayacucho durante el año 2024?	Desarrollar un modelo predictivo basado en **redes neuronales artificiales** para optimizar la dosificación de materiales en el **diseño de mezclas de concreto**, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales disponibles en la ciudad de Ayacucho durante el año 2024.	El modelo predictivo basado en **redes neuronales artificiales** permite optimizar significativamente la dosificación de materiales en el **diseño de mezclas de concreto**, utilizando propiedades físico-mecánicas de los materiales locales de Ayacucho (2024), y ofrece una mayor precisión en comparación con los métodos estadísticos tradicionales.	**Independiente (X):** **X: Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA)**	X.1. **Base de datos histórica** X.2. Desempeño predictivo X.3. Capacidad de generalización X.4. Eficiencia computacional X.5. Validación estadística comparativa	• X.1.1. Número de registros incluidos en la base de datos • X.1.2. Variables físicas, mecánicas y de diseño consideradas • X.2.1. Errores de predicción: MSE, RMSE, MAE, MAPE, ME X.2.2. Coeficientes de ajuste: R, R^2, NSE • X.2.3. Mejora (%) respecto a método de referencia (ACI, MLRM) • X.3.1. Desempeño en datos no vistos (validación externa) • X.4.1. Tiempo de entrenamiento y recursos computacionales • X.5.1. Concordancia entre dosificaciones predichas y experimentales (Bland–Altman).	**ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN:** Cuantitativo **TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Aplicado y explicativo **ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN:** Correlacional–predictivo, con componente descriptivo **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** Diseño cuasi experimental-Transversal **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:** Experimental-deductivo **POBLACIÓN DE ESTUDIO MUESTRA DE ESTUDIO:** Diseños de mezclas de concreto **MUESTRA DE ESTUDIO:** 806 diseños de mezclas de concreto **MUESTREO:** No probabilístico, de tipo intencional (por criterio) **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS:** • **Técnicas:** Análisis documental, elaboración de especímenes, pruebas y análisis de laboratorio y procesamiento y análisis de datos. • **Instrumentos:** Fichas documentales, fichas de registro de ensayos, guías de laboratorio; moldes cilíndricos, cámara fotográfica; máquina de compresión, equipos de ensayo de agregados y concreto; software Matlab R2020a, Excel, Rstudio. • **Fuentes documentales (insumos)**: Artículos científicos, libros, tesis, Normas Técnicas Peruanas (NTP), Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y normas ASTM, ACI. **ALCANCE DELIMITADO:** • **Geográfico**: ciudad de Ayacucho, Perú. • **Temporal**: año 2024. • **Técnico**: concreto convencional con resistencias de 140, 175 y 210 kg/cm². • **Metodológico**: RNA entrenadas con 806 diseños y validadas con 15 diseños experimentales (135 probetas ensayadas a 7, 14 y 28 días). • **Limitaciones**: el estudio se restringe a modelación y validación en laboratorio, con proyección de aplicabilidad en obra.
Secundario 1	¿De qué manera el uso del modelo predictivo basado en **redes neuronales artificiales** permite estimar con precisión las **dosificaciones del concreto**?	Analizar la contribución del modelo predictivo con **redes neuronales artificiales** en la estimación de las **dosificaciones del concreto**.	El modelo predictivo con **redes neuronales artificiales** estima las **dosificaciones del concreto** eficazmente con un 95% de confianza.				
Secundario 2	¿Qué resultados se obtienen al predecir las **dosificaciones del concreto** utilizando una base de **datos histórica disponible**?	Evaluar la predicción de las **dosificaciones del concreto** a partir de una **base de datos histórica** disponible.	El uso de una **base de datos histórica** mejora significativamente la precisión en la predicción de las **dosificaciones del concreto**.	**Dependiente (Y):** **Y: Diseño de mezcla del concreto**	**Y1: Dosificaciones del concreto**	• Y.1.1. Cantidad de kg de cemento por m3 • Y.1.2. Cantidad de kg de agregado fino por m3 • Y.1.3. Cantidad de kg de agregado grueso por m3 • Y.1.4. Cantidad de litros agua por m3	
Secundario 3	¿Puede el modelo de **redes neuronales artificiales** predecir con alta precisión las **dosificaciones del concreto**?	Evaluar la precisión del modelo de **redes neuronales artificiales** mediante el análisis del error relativo porcentual promedio en la predicción de las **dosificaciones del concreto**.	El modelo de **redes neuronales artificiales** predice las **dosificaciones del concreto** con alta precisión, mostrando errores relativos porcentuales promedios inferiores al 5%.				
Secundario 4	¿Cuál es la variación entre los valores predichos y experimentales de las **dosificaciones del concreto**, al aplicar **redes neuronales artificiales** frente a un modelo de RLMM ?	Evaluar las diferencias entre los valores predichos y experimentales de las **dosificaciones del concreto** utilizando **redes neuronales artificiales** y regresión lineal múltiple multivariante (RLMM).	Las **redes neuronales artificiales** presentan menor error de predicción que el modelo de regresión lineal múltiple multivariante (RLMM) en la estimación de las **dosificaciones del concreto**, con un nivel de confianza del 95 %.				

A. 2. Validación de instrumentos y confiabilidad de instrumento

A.2.1. Operacionalización de variables

TÍTULO:	**Aplicación de las redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla del concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024**			
AUTOR:	**Ramos Cavalcanti, Julio Cesar**			
VARIABLE	**DEFINICIÓN CONCEPTUAL**	**DEFINICIÓN OPERACIONAL**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**
(Variable Independiente) **Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA)**	Son modelos computacionales inspirados en el sistema nervioso, conformados por neuronas artificiales organizadas en capas interconectadas. Procesan información mediante la propagación de señales ponderadas y generan salidas predictivas (IBM, 2021).	La variable se operacionaliza mediante la implementación de un modelo predictivo de RNA ajustado a una base de datos histórica de diseños de mezclas de concreto. Incluye la selección del algoritmo de entrenamiento, el ajuste de parámetros de red y la validación frente a métodos tradicionales (ACI 211.1 y regresión lineal múltiple). La eficacia se mide mediante indicadores de error, coeficientes de ajuste y análisis de concordancia entre valores predichos y experimentales.	X.1. Base de datos histórica X.2. Desempeño predictivo X.3. Capacidad de generalización X.4. Eficiencia computacional X.5. Validación estadística comparativa	X.1.1. Número de registros incluidos en la base de datos
				X.1.2. Variables físicas, mecánicas y de diseño consideradas
				X.2.1. Errores de predicción: MSE, RMSE, MAE, MAPE, ME
				X.2.2. Coeficientes de ajuste: R, R^2, NSE
				X.2.3. Mejora (%) respecto a método de referencia (ACI, MLRM)
				X.3.1. Desempeño en datos no vistos (validación externa)
				X.4.1. Tiempo de entrenamiento y recursos computacionales
				X.5.1. Concordancia entre dosificaciones predichas y experimentales (Bland–Altman)
(Variable Dependiente) **Diseño de mezcla del concreto**	Es el procedimiento mediante el cual se seleccionan y dosifican los componentes (cemento, agua, agregados) con el objetivo de alcanzar las propiedades de resistencia, trabajabilidad y durabilidad requeridas (Adil et al., 2022).	La variable se operacionaliza mediante la determinación de las dosificaciones de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso (kg/m^3 o L/m^3), verificadas experimentalmente en laboratorio mediante mezclas, probetas cilíndricas y ensayos de resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días.	Y1: Dosificaciones del concreto	Y.1.1. Cantidad de kg de cemento por m3
				Y.1.2. Cantidad de kg de agregado fino por m3
				Y.1.3. Cantidad de kg de agregado grueso por m3
				Y.1.4. Cantidad de litros agua por m3

A.2.2. Validación de instrumentos y confiabilidad de instrumento

TÍTULO:	Aplicación de las redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla del concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024							
AUTOR:	Ramos Cavalcanti, Julio Cesar							
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	TÉCNICA	INSTRUMENTO METODOLÓGICO	VALIDACIÓN	INSTRUMENTO Y/O EQUIPO DE INGENIERÍA	CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE INGENIERÍA
(Variable Independiente) Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA)	X.1. Base de datos histórica	X.1.1. Número de registros incluidos en la base de datos	Cantidad (número de registros)	Recopilación, organización y normalización de datos	Tabla de datos en Excel.	Verificación cruzada y limpieza de inconsistencias	•Una laptop Intel(R) Core(TM) i7-8750H CPU con MATLAB R2020a	•Fabricante, vendedor, estudio R & R del investigador. •Control de versiones, revisión manual y respaldo digital. •Validación funcional del entorno MATLAB
		X.1.2. Variables físicas, mecánicas y de diseño consideradas	Número de variables (cantidad)	Análisis documental y clasificación	GUI personalizada en MATLAB (NeuroMAT Toolbox)	Contraste con normas técnicas (NTP, ASTM, ACI 211.1)		
	X.2. Desempeño predictivo	X.2.1. Errores de predicción: MSE, RMSE, MAE, MAPE, ME	MSE: (unidad de salida)²; RMSE, MAE, ME: unidad de salida; MAPE: %	Cálculo estadístico de errores	Scripts personalizados en MATLAB	Comparación con valores experimentales		
		X.2.2. Coeficientes de ajuste: R, R², NSE	Adimensional (0 a 1 y -∞ a 1)	Evaluación de correlación, determinación y eficiencia del modelo	Funciones corrcoef, cálculo de R² y NSE en MATLAB	Contraste con valores ideales		
		X.2.3. Mejora (%) respecto a método de referencia (ACI, MLRM)	Porcentaje (%)	Análisis comparativo	Scripts de comparación en MATLAB	Evaluación de robustez frente a datos no usados en el entrenamiento		
	X.3. Capacidad de generalización	X.3.1. Desempeño en datos no vistos (validación externa)	MSE: (unidad de salida)²; RMSE, MAE, ME: unidad de salida; MAPE: %	Pruebas con nuevas mezclas diseñadas	Base de validación externa con 15 diseños experimentales	Concordancia con método ACI 211.1		
	X.4. Eficiencia computacional	X.4.1. Tiempo de entrenamiento y recursos computacionales	Segundos (s)	Medición de tiempo y consumo de recursos	Registro automático en MATLAB (tic/toc)	Comparación de curvas de pérdida en entrenamiento vs. validación		
	X.5. Validación estadística comparativa	X.5.1. Concordancia entre dosificaciones predichas y experimentales (Bland–Altman)	Diferencia media y límites de concordancia (%)	Análisis estadístico de concordancia	Script Bland–Altman en MATLAB	Confirmación de límites de concordancia aceptables (95%)		
(Variable Dependiente) Diseño de mezcla del concreto	Y1: Dosificaciones del concreto	Y.1.1. Cantidad de kg de cemento por m3	kg	Observación, medición y experimentación directa. En laboratorio de concreto se elaborará el diseño de mezcla y se comprobará la resistencia de las probetas cilíndricas.	•Tipos de diseño experimental DOE (diseño de experimentos). •Formato de diseño de mezclas de concreto (ACI 211.1)	Comparación de las dosificaciones predichas por la RNA con las obtenidas por el método ACI 211.1, mediante elaboración y ensayo de mezclas conforme a ACI 318, ASTM C-39/C39M, NTP 339.034 y N.T.P.E.60.	•---------- •---------- •---------- •---------- •Moldes cilíndricos y máquina de ensayo e indicador de carga calibrada.	Fabricante, vendedor, estudio R & R del investigador
		Y.1.2. Cantidad de kg de agregado fino por m3	kg					
		Y.1.3. Cantidad de kg de agregado grueso por m3	kg					
		Y.1.4. Cantidad de litros agua por m3	L					

Anexo B

B.1. Propiedades físicas de los agregados cantera “La Moderna”

B.1.1. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M1)

Tabla 44

Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

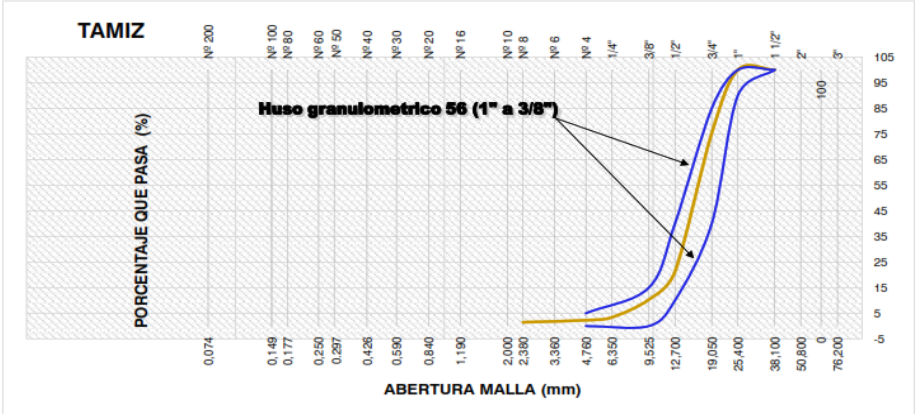
TAMIZ N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO PARCIAL%	PASANTE %	HUSO 56 (1"a 3/8")	
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400	0.00	0.00	100.00	90	100
6	3/4"	19.050	996.80	24.71	75.29	40	85
7	1/2"	12.700	2181.20	54.07	21.22	10	40
8	3/8"	9.525	439.20	10.89	10.33	0	15
9	1/4"	6.350	278.40	6.90	3.43		
10	N°4	4.760	46.7	1.16	2.27	0	5
11	N°8	2.380	31.50	0.78	1.49		
12	N°10	2.000	2.20	0.05	1.44		
13	N°16	1.190	6.10	0.15	1.29		
14	N°20	0.840	4.20	0.10	1.18		
15	N°30	0.590	3.30	0.08	1.10		
16	N°40	0.426	3.40	0.08	1.02		
17	N°50	0.297	3.80	0.09	0.92		
18	N°60	0.250	1.30	0.03	0.89		
19	N°80	0.177	3.40	0.08	0.81		
20	N°100	0.149	1.20	0.03	0.78		
21	N°200	0.075	1.500	0.04	0.74		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		29.8	0.74			
24	TOTAL		4034.0	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		4,034 g
Peso muestra seca y lavada		4,004 g
Perdida por lavado		30 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	97.73%	3,942 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	97.73%	3,942 g
% Arena	1.53%	62 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	0.84%	34 g
Arena Media-Hasta (N°40)	0.42%	17 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	0.28%	11 g
% Finos	0.74%	30 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	1.84
Curvatura (Cc)	1.17
D15(mm) =	10.89
D50(mm) =	16.08
D85(mm) =	21.55
Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Gravedad especifica	2.49
Módulo de Fineza	7.07
Superficie especifica (cm2/gr)	6.82

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GRUESO



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	17.2543 mm
30	13.7312 mm
10	9.3722 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
WELHNER ROQUE HUAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 209814 ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 45

Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho; PROVINCIA: Huamanga; DISTRITO: AYACUCHO; LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

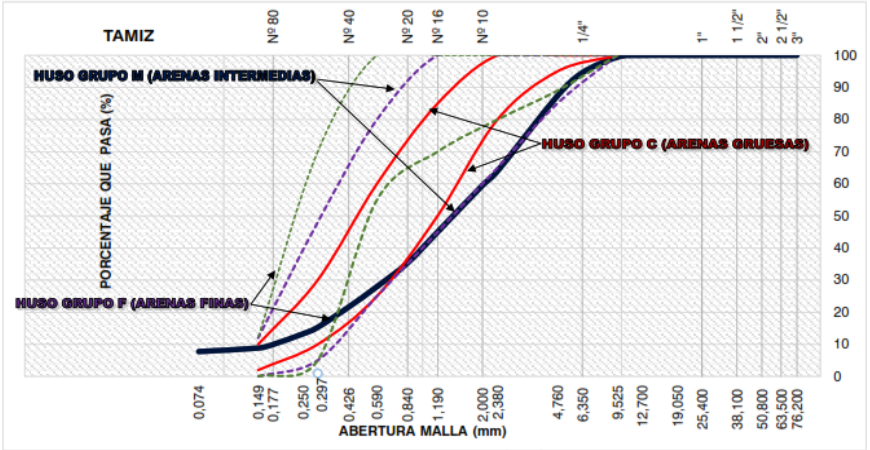
N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO %	PASANTE %	ESPECIF. LIM.	TOTAL
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400		0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00			
7	1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00		
8	3/8"	9.525	19.70	0.57	99.43	100	
9	1/4"	6.350	166.60	4.85	94.58		
10	N°4	4.760	248.2	7.22	87.36	89	100
11	N°8	2.380	804.70	23.41	63.95	65	100
12	N°10	2.000	153.00	4.45	59.50		
13	N°16	1.190	498.90	14.51	44.98	45	100
14	N°20	0.840	331.80	9.65	35.33		
15	N°30	0.590	252.80	7.35	27.97	25	100
16	N°40	0.426	217.30	6.32	21.65		
17	N°50	0.297	218.80	6.37	15.29	5	70
18	N°60	0.250	70.10	2.04	13.25		
19	N°80	0.177	113.50	3.30	9.94		
20	N°100	0.149	37.80	1.10	8.84	0	12
21	N°200	0.075	37.700	1.10	7.75		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		266.3	7.75			
24	TOTAL		3437.2	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,437 g
Peso muestra seca y lavada		3,171 g
Perdida por lavado		266 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	12.64%	435 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	12.64%	435 g
% Arena	79.61%	2,736 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	27.86%	958 g
Arena Media-Hasta (N°40)	37.84%	1,301 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	13.90%	478 g
% Finos	7.75%	266 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	11.46
Curvatura (Cc)	1.19
D15(mm) =	0.29
D50(mm) =	1.47
D85(mm) =	4.52
Tamaño Maximo (Pulg)"	1/2
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/4
Gravedad especifica	2.56
Módulo de Fineza	3.52
Superficie especifica (cm2/gr)	73.98

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO FINO (ARENA)



SUCS

SW-SM

ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	2.04 mm
30	0.66 mm
10	0.18 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno
ID	SE6001F	SE6001F	AUTCOMP

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
WELHNER AGUISE ANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 46

Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL (NTP 400.012)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho — PROVINCIA: Huamanga — DISTRITO: AYACUCHO — LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _ .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

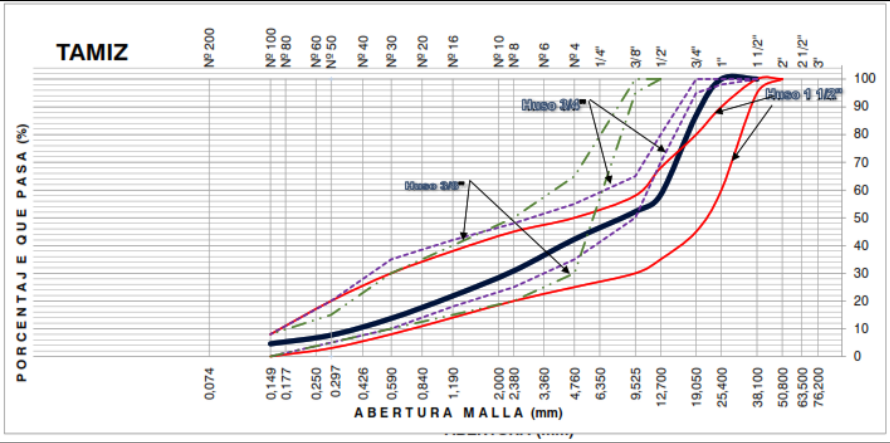
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO % PASA (A.G.)	RETENIDO % PASA (A.F.)	% ACUM.	PASANTE %	HUSO 3/4"	
1	3"	76.200	100.00	100.00	0.00			
2	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.00			
3	2"	50.800	100.00	100.00	0.00		100	95
4	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.00		95	60
5	1"	25.400	100.00	100.00	0.00	100.00	60	45
6	3/4"	19.050	75.29	100.00	13.10	86.90	45	35
7	1/2"	12.700	21.22	100.00	41.75	58.25	35	30
8	3/8"	9.525	10.33	99.43	47.79	52.21	30	0
9	1/4"	6.350	3.43	94.58	53.73	46.27	0	25
10	N°4	4.760	2.27	87.36	57.74	42.26	25	20
11	N°8	2.380	1.49	63.95	69.15	30.85	20	0
12	N°10	2.000	1.44	59.50	71.27	28.73	0	14
13	N°16	1.190	1.29	44.98	78.18	21.82	14	0
14	N°20	0.840	1.18	35.33	82.77	17.23	0	8
15	N°30	0.590	1.10	27.97	86.27	13.73	8	0
16	N°40	0.426	1.02	21.65	89.29	10.71	0	3
17	N°50	0.297	0.92	15.29	92.33	7.67	3	0
18	N°60	0.250	0.89	13.25	93.30	6.70	0	0
19	N°80	0.177	0.81	9.94	94.90	5.10	0	0
20	N°100	0.149	0.78	8.84	95.43	4.57	0	0
21	N°200	0.075	0.74	7.75	95.97	4.03		

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN	VALOR
ENSAYOS ESTANDAR	
% Grava	57.74%
% Arena	38.23%
% Finos	4.03%
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	33.08
Curvatura (Cc)	0.96
D15(mm) =	0.68
D50(mm) =	8.34
D85(mm) =	18.63
Tamaño Maximo (Pulg)°	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)°	3/4
Módulo de Fineza	5.40
% del Agregado Grueso	53.00
% del Agregado fino	47.00

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GLOBAL



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	13.09 mm
30	2.23 mm
10	0.40 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno		
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP		

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
WELHNER AKOISE JANAMPA RESPONSABLE ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.2. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M1)

Tabla 47

Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho; PROVINCIA: Huamanga; DISTRITO: AYACUCHO; LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275	2275	2275
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**6970**	**6910**	**6915**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4695	4635	4640
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813	2813	2813
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1669.0	1647.7	1649.5
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1655.4	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275.0	2275.0	2275.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**7227.0**	**7209.0**	**7180**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4952.0	4934.0	4905.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813.0	2813.0	2813.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1760.4	1754.0	1743.7
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1752.7	

4. AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**19325.0**	**19361.0**	**19301**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13916.0	13952.0	13892.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1474.0	1477.8	1471.5
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1474.4	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**20024.0**	**19748.0**	**19993**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14615.0	14339.0	14584.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1548.0	1518.8	1544.8
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1537.2	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. MOLDES DE PESO UNITARIO

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.3. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M1)

Tabla 48

Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"				
SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	-				

1. MUESTRA			2. PERSONAL	
CANTERA:	CACHI - LA MODERNA	M-1	OPERADOR:	K.O.C
MATERIAL:	AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO		ASISTENTE:	W.A.J

3. AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

	IDENTIFICACION		ENSAYO N°01	ENSAYO N°02		PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	1133	1134		
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	1148	1,156.00		
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS	gr	694	699		
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.50	2.48		2.49
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.53	2.53		2.53
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.58	2.61		2.59
4	% de absoción	%	1.32	1.94		1.63

4. AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02		PROMEDIO
1	Peso al aire de la muestra secada	gr	196.48	196.66		
2	Peso del Picnometro aforado lleno de agua	gr	359.68	368.43		
3	Peso del Picnometro con la muestra y agua	gr	483.11	491.79		
	Peso de la muestra en SSS	gr	200.12	200.27		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.56	2.56		2.56
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.61	2.60		2.61
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.69	2.68		2.69
4	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	%	1.85	1.84		1.84

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	57.7
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	42.3
Gravedad especifica de los sólidos	2.52

5. EQUIPOS DE MEDICION					6. CANASTILLA - FIOLAS- CONO DE ABSORCION					
EQ	Balanza	Balanza	Horno		CANASTILLA	FIOLA	CONO DE ABSORCION			
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP							

7. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266624 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.4. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M1)

Tabla 49

Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	IDENTIFICACIÓN	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm³)	1,474	1,655
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm³)	1,537	1,753
C	Gravedad Especifica de Masa	2.49	2.56
D	Peso de los Solidos (gr)	2,488.50	2,559.51
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto	40.75	35.32
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado	38.23	31.52

4. CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

	IDENTIFICACION		Agregado Grueso	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	379.58	374.67
2	Peso Seco de la muestra	gr	377.08	372.15
3	Peso del agua en la muestra	gr	2.5	2.52
4	% de absorcion	%	1.63	
	Contenido de Humedad	%	0.66	0.68
	Contenido de Humedad	%	0.67	
	Absorcion Efectiva	%	0.96	
	Humedad Superficial	%	0.00	

	IDENTIFICACION		Agregado Fino	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	331.67	335.96
2	Peso Seco de la muestra	gr	323.16	327.28
3	Peso del agua en la muestra	gr	8.51	8.68
4	% de absorcion	%	1.84	
	Contenido de Humedad	%	2.63	2.65
	Contenido de Humedad	%	2.64	
	Absorcion Efectiva	%	0.00	
	Humedad Superficial	%	0.80	

NOTA: EL AGREGADO FUE MUESTREADO EN OBRA, CUYA HUMEDAD EN ESE MOMENTO FUE LA QUE SE DETERMINA

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno							
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP							

6. RECIPIENTES

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaboredo por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER LOUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.5. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M2)

Tabla 50

Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho — PROVINCIA: Huamanga — DISTRITO: AYACUCHO — LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

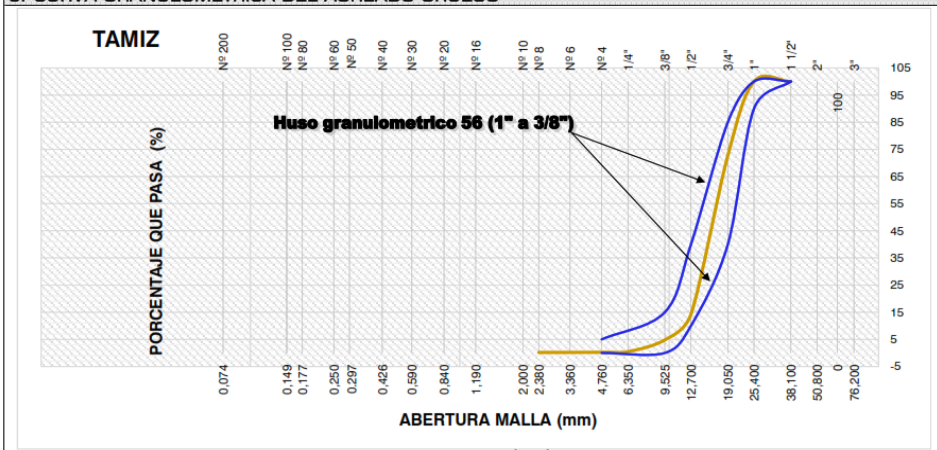
N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO PARCIAL%	PASANTE %	HUSO 56 (1"a 3/8")	
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400	0.00	0.00	100.00	90	100
6	3/4"	19.050	991.80	27.24	72.76	40	85
7	1/2"	12.700	2129.10	58.47	14.29	10	40
8	3/8"	9.525	345.60	9.49	4.80	0	15
9	1/4"	6.350	156.50	4.30	0.50		
10	N°4	4.760	8.7	0.24	0.26	0	5
11	N°8	2.380	2.90	0.08	0.18		
12	N°10	2.000	0.50	0.01	0.16		
13	N°16	1.190	0.20	0.01	0.16		
14	N°20	0.840	0.80	0.02	0.14		
15	N°30	0.590	0.50	0.01	0.12		
16	N°40	0.426	0.40	0.01	0.11		
17	N°50	0.297	0.20	0.01	0.11		
18	N°60	0.250	0.20	0.01	0.10		
19	N°80	0.177	0.30	0.01	0.09		
20	N°100	0.149	0.30	0.01	0.09		
21	N°200	0.075	0.300	0.01	0.08		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		2.8	0.08			
24	TOTAL		3641.1	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,641 g
Peso muestra seca y lavada		3,638 g
Perdida por lavado		3 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	99.74%	3,632 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	99.74%	3,632 g
% Arena	0.18%	7 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	0.09%	3 g
Arena Media-Hasta (N°40)	0.05%	2 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	0.04%	1 g
% Finos	0.08%	3 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	1.57
Curvatura (Cc)	1.04
D15(mm) =	12.78
D50(mm) =	16.58
D85(mm) =	21.90
Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Gravedad especifica	2.55
Módulo de Fineza	7.22
Superficie especifica (cm2/gr)	2.04

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GRUESO



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	17.6642 mm
30	14.4064 mm
10	11.2660 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 51

Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

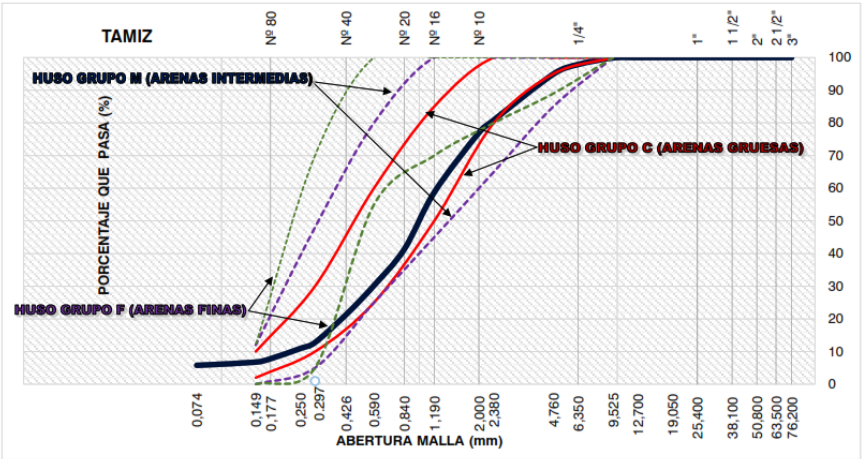
N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO %	PASANTE %	ESPECIF. LIM.	ESPECIF. TOTAL
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400		0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00			
7	1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00		
8	3/8"	9.525	3.90	0.12	99.88	100	
9	1/4"	6.350	65.00	2.01	97.87		
10	N°4	4.760	94.9	2.93	94.94	89	100
11	N°8	2.380	455.50	14.07	80.87	65	100
12	N°10	2.000	126.50	3.91	76.97		
13	N°16	1.190	590.30	18.23	58.74	45	100
14	N°20	0.840	563.10	17.39	41.34		
15	N°30	0.590	360.30	11.13	30.22	25	100
16	N°40	0.426	289.30	8.93	21.28		
17	N°50	0.297	275.40	8.51	12.78	5	70
18	N°60	0.250	59.50	1.84	10.94		
19	N°80	0.177	101.80	3.14	7.80		
20	N°100	0.149	33.40	1.03	6.76	0	12
21	N°200	0.075	32.100	0.99	5.77		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		186.9	5.77			
24	TOTAL		3237.9	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,238 g
Peso muestra seca y lavada		3,051 g
Perdida por lavado		187 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	5.06%	164 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	5.06%	164 g
% Arena	89.17%	2,887 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	17.97%	582 g
Arena Media-Hasta (N°40)	55.68%	1,803 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	15.51%	502 g
% Finos	5.77%	187 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	5.46
Curvatura (Cc)	1.21
D15(mm) =	0.33
D50(mm) =	1.01
D85(mm) =	3.08
Tamaño Maximo (Pulg)"	1/2
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	N°4
Gravedad especifica	2.55
Módulo de Fineza	3.16
Superficie especifica (cm2/gr)	66.49

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO FINO (ARENA)



SUCS
SP-SM
ARENA MAL GRADUADA CON LIMO

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	1.25 mm
30	0.59 mm
10	0.23 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno
ID	SE6001F	SE6001F	AUTCOMP

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 52

Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL (NTP 400.012)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ..

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

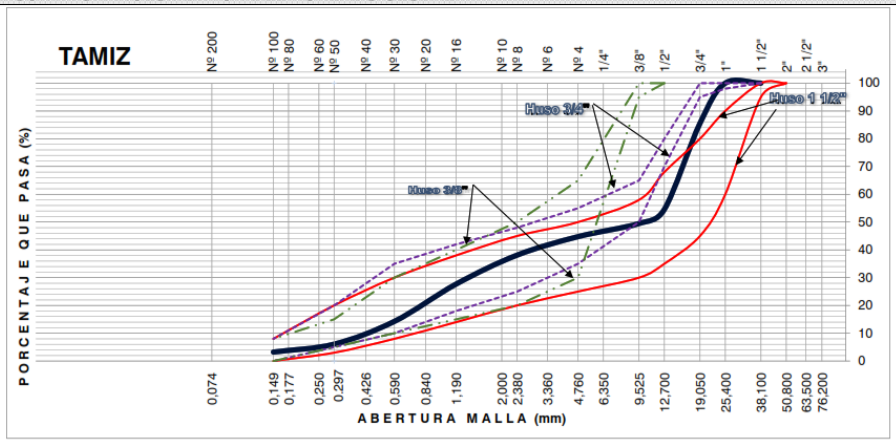
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO % PASA (A.G.)	RETENIDO % PASA (A.F.)	RETENIDO % ACUM.	PASANTE %	HUSO 3/4"	
1	3"	76.200	100.00	100.00	0.00			
2	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.00			
3	2"	50.800	100.00	100.00	0.00		100	95
4	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.00		95	60
5	1"	25.400	100.00	100.00	0.00	100.00	60	45
6	3/4"	19.050	72.76	100.00	14.44	85.56	45	35
7	1/2"	12.700	14.29	100.00	45.43	54.57	35	30
8	3/8"	9.525	4.80	99.88	50.52	49.48	30	0
9	1/4"	6.350	0.50	97.87	53.74	46.26	0	25
10	N°4	4.760	0.26	94.94	55.24	44.76	25	20
11	N°8	2.380	0.18	80.87	61.89	38.11	20	0
12	N°10	2.000	0.16	76.97	63.74	36.26	0	14
13	N°16	1.190	0.16	58.74	72.31	27.69	14	0
14	N°20	0.840	0.14	41.34	80.50	19.50	0	8
15	N°30	0.590	0.12	30.22	85.73	14.27	8	0
16	N°40	0.426	0.11	21.28	89.94	10.06	0	3
17	N°50	0.297	0.11	12.78	93.94	6.06	3	0
18	N°60	0.250	0.10	10.94	94.80	5.20	0	0
19	N°80	0.177	0.09	7.80	96.29	3.71	0	0
20	N°100	0.149	0.09	6.76	96.78	3.22	0	0
21	N°200	0.075	0.08	5.77	97.25	2.75		

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN	VALOR
ENSAYOS ESTANDAR	
% Grava	55.24%
% Arena	42.01%
% Finos	2.75%
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	32.58
Curvatura (Cc)	0.34
D15(mm) =	0.62
D50(mm) =	9.85
D85(mm) =	18.93
Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Módulo de Fineza	5.31
% del Agregado Grueso	53.00
% del Agregado fino	47.00

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO GLOBAL



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	13.81 mm
30	1.41 mm
10	0.42 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno		
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP		

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266514 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.6. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M2)

Tabla 53

Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: -

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275	2275	2275
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**6773**	**6769**	**6771**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4498	4494	4496
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813	2813	2813
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1599.0	1597.6	1598.3
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1598.3	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275.0	2275.0	2275.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**7149.0**	**7142.0**	**7156**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4874.0	4867.0	4881.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813.0	2813.0	2813.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1732.7	1730.2	1735.2
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1732.7	

4. AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**18784.0**	**18802.0**	**18796**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13375.0	13393.0	13387.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1416.7	1418.6	1418.0
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1417.8	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**19552.0**	**19544.0**	**19550**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14143.0	14135.0	14141.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1498.0	1497.2	1497.8
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1497.7	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. MOLDES DE PESO UNITARIO

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 269644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.7. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M2)

Tabla 54

Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _.

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

	IDENTIFICACION		ENSAYO Nº01	ENSAYO Nº02		PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	999	1003		
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	1018	1,020.00		
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS	gr	625	629		
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.54	2.57		2.55
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.59	2.61		2.60
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.67	2.68		2.68
4	% de absoción	%	1.90	1.69		1.80

4. AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02		PROMEDIO
1	Peso al aire de la muestra secada	gr	196.42	196.07		
2	Peso del Picnometro aforado lleno de agua	gr	359.68	368.43		
3	Peso del Picnometro con la muestra y agua	gr	483.19	491.56		
	Peso de la muestra en SSS	gr	200.48	200.23		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.55	2.54		2.55
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.60	2.60		2.60
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.69	2.69		2.69
4	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	%	2.07	2.12		2.09

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	55.2
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	44.8
Gravedad especifica de los sólidos	**2.55**

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. CANASTILLA - FIOLAS- CONO DE ABSORCION

CANASTILLA	FIOLA	CONO DE ABSORCION			

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaboredo por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.8. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M2)

Tabla 55

Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho; PROVINCIA: Huamanga; DISTRITO: AYACUCHO; LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	IDENTIFICACIÓN	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm³)	1,418	1,598
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm³)	1,498	1,733
C	Gravedad Especifica de Masa	2.55	2.55
D	Peso de los Solidos (gr)	2,553.60	2,547.48
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto	44.48	37.26
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado	41.35	31.99

4. CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

	IDENTIFICACION		Agregado Grueso	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	376.13	368.81
2	Peso Seco de la muestra	gr	373.63	366.29
3	Peso del agua en la muestra	gr	2.5	2.52
4	% de absorcion	%	1.80	
	Contenido de Humedad	%	0.67	0.69
	Contenido de Humedad	%	0.68	
	Absorcion Efectiva	%	1.12	
	Humedad Superficial	%	0.00	

	IDENTIFICACION		Agregado Fino	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	332.37	342.87
2	Peso Seco de la muestra	gr	320.86	331.19
3	Peso del agua en la muestra	gr	11.51	11.68
4	% de absorcion	%	2.09	
	Contenido de Humedad	%	3.59	3.53
	Contenido de Humedad	%	3.56	
	Absorcion Efectiva	%	0.00	
	Humedad Superficial	%	1.46	

NOTA: EL AGREGADO FUE MUESTREADO EN OBRA, CUYA HUMEDAD EN ESE MOMENTO FUE LA QUE SE DETERMINA

5. EQUIPOS DE MEDICION

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. RECIPIENTES

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELLHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256614 ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.9. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M3)

Tabla 56

Granulometría del agregado grueso – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

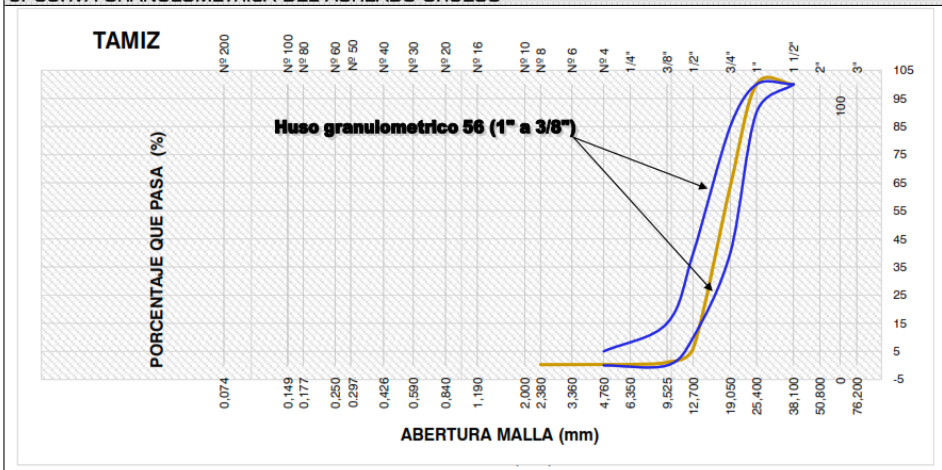
N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO PARCIAL%	PASANTE %	HUSO 56 (1"a 3/8")	
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400	0.00	0.00	100.00	90	100
6	3/4"	19.050	1338.70	36.28	63.72	40	85
7	1/2"	12.700	2123.40	57.55	6.17	10	40
8	3/8"	9.525	185.60	5.03	1.14	0	15
9	1/4"	6.350	28.80	0.78	0.36		
10	N°4	4.760	1.5	0.04	0.32	0	5
11	N°8	2.380	1.70	0.05	0.28		
12	N°10	2.000	0.50	0.01	0.26		
13	N°16	1.190	0.40	0.01	0.25		
14	N°20	0.840	0.30	0.01	0.24		
15	N°30	0.590	0.10	0.00	0.24		
16	N°40	0.426	0.20	0.01	0.24		
17	N°50	0.297	0.20	0.01	0.23		
18	N°60	0.250	0.00	0.00	0.23		
19	N°80	0.177	0.00	0.00	0.23		
20	N°100	0.149	0.10	0.00	0.23		
21	N°200	0.075	0.100	0.00	0.22		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		8.3	0.22			
24	TOTAL		3689.9	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,690 g
Peso muestra seca y lavada		3,682 g
Perdida por lavado		8 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	99.68%	3,678 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	99.68%	3,678 g
% Arena	0.10%	4 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	0.06%	2 g
Arena Media-Hasta (N°40)	0.03%	1 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	0.01%	0 g
% Finos	0.22%	8 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	1.42
Curvatura (Cc)	0.96
D15(mm) =	13.67
D50(mm) =	17.54
D85(mm) =	22.77
Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Gravedad especifica	2.52
Módulo de Fineza	7.34
Superficie especifica (cm2/gr)	2.83

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GRUESO



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	18.6395 mm
30	15.3291 mm
10	13.1222 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHINER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266604 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 57

Granulometría del agregado fino – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

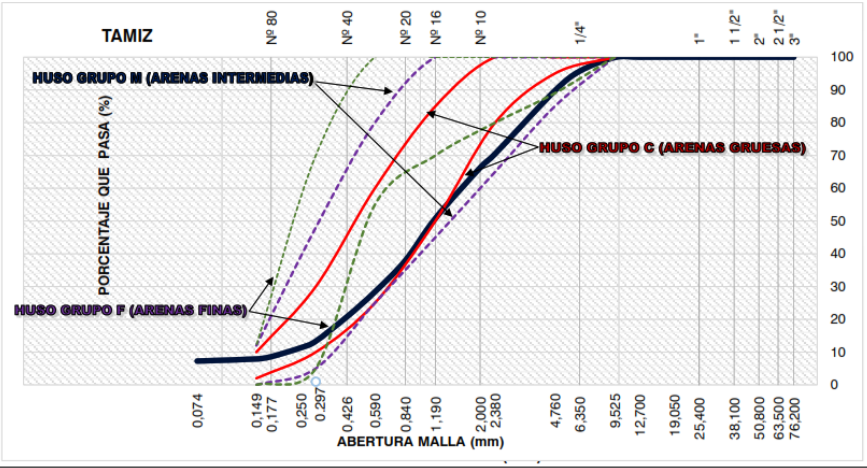
N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO %	PASANTE %	ESPECIF. LIM.	TOTAL
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400		0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00			
7	1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00		
8	3/8"	9.525	3.50	0.11	99.89	100	
9	1/4"	6.350	130.90	4.17	95.72		
10	N°4	4.760	187.3	5.96	89.76	89	100
11	N°8	2.380	605.00	19.26	70.51	65	100
12	N°10	2.000	133.40	4.25	66.26		
13	N°16	1.190	485.70	15.46	50.80	45	100
14	N°20	0.840	403.10	12.83	37.97		
15	N°30	0.590	300.90	9.58	28.39	25	100
16	N°40	0.426	239.90	7.64	20.76		
17	N°50	0.297	233.50	7.43	13.33	5	70
18	N°60	0.250	62.63	1.99	11.33		
19	N°80	0.177	85.80	2.73	8.60		
20	N°100	0.149	22.00	0.70	7.90	0	12
21	N°200	0.075	19.900	0.63	7.27		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		228.4	7.27			
24	TOTAL		3141.9	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,142 g
Peso muestra seca y lavada		2,914 g
Perdida por lavado		228 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	10.24%	322 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	10.24%	322 g
% Arena	82.49%	2,592 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	23.50%	738 g
Arena Media-Hasta (N°40)	45.50%	1,430 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	13.49%	424 g
% Finos	7.27%	228 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	7.80
Curvatura (Cc)	1.11
D15(mm) =	0.33
D50(mm) =	1.17
D85(mm) =	4.17
Tamaño Maximo (Pulg)"	1/2
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	N°4
Gravedad especifica	2.53
Módulo de Fineza	3.39
Superficie especifica (cm2/gr)	72.03

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO FINO (ARENA)



SUCS
SW-SM
ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	1.67 mm
30	0.63 mm
10	0.21 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	SE6001F	AUTCOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELFHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 58

Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL (NTP 400.012)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

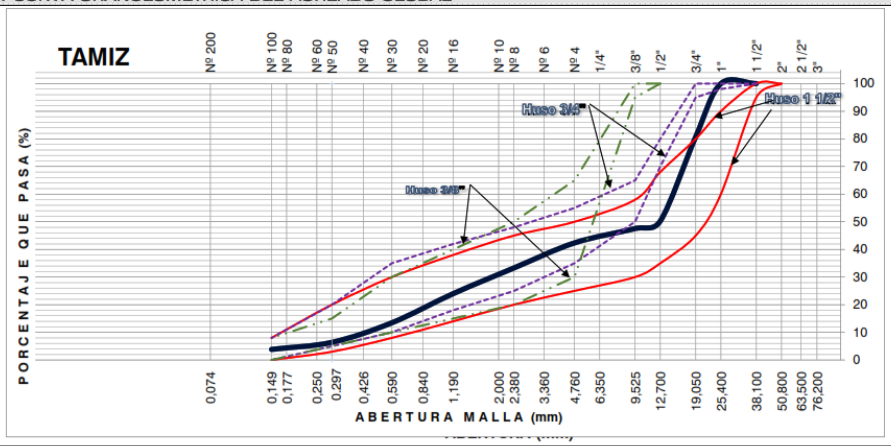
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO % PASA (A.G.)	RETENIDO % PASA (A.F.)	RETENIDO % ACUM.	PASANTE %	HUSO 3/4"	
1	3"	76.200	100.00	100.00	0.00			
2	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.00			
3	2"	50.800	100.00	100.00	0.00		100	95
4	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.00		95	60
5	1"	25.400	100.00	100.00	0.00	100.00	60	45
6	3/4"	19.050	63.72	100.00	19.23	80.77	45	35
7	1/2"	12.700	6.17	100.00	49.73	50.27	35	30
8	3/8"	9.525	1.14	99.89	52.45	47.55	30	0
9	1/4"	6.350	0.36	95.72	54.82	45.18	0	25
10	N°4	4.760	0.32	89.76	57.64	42.36	25	20
11	N°8	2.380	0.28	70.51	66.72	33.28	20	0
12	N°10	2.000	0.26	66.26	68.72	31.28	0	14
13	N°16	1.190	0.25	50.80	75.99	24.01	14	0
14	N°20	0.840	0.24	37.97	82.02	17.98	0	8
15	N°30	0.590	0.24	28.39	86.53	13.47	8	0
16	N°40	0.426	0.24	20.76	90.12	9.88	0	3
17	N°50	0.297	0.23	13.33	93.61	6.39	3	0
18	N°60	0.250	0.23	11.33	94.55	5.45	0	0
19	N°80	0.177	0.23	8.60	95.83	4.17	0	0
20	N°100	0.149	0.23	7.90	96.17	3.83	0	0
21	N°200	0.075	0.22	7.27	96.46	3.54		

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN	VALOR
ENSAYOS ESTANDAR	
% Grava	57.64%
% Arena	38.82%
% Finos	3.54%
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	34.13
Curvatura (Cc)	0.54
D15(mm) =	0.67
D50(mm) =	12.38
D85(mm) =	20.45
Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Módulo de Fineza	5.48
% del Agregado Grueso	53.00
% del Agregado fino	47.00

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO GLOBAL



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	14.73 mm
30	1.86 mm
10	0.43 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno		
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP		

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER ACHISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 269554 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.10. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017- (M3)

Tabla 59

Peso unitario de los agregados – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
	Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275	2275	2275
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**6939**	**6924**	**6930**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4664	4649	4655
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813	2813	2813
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1658.0	1652.7	1654.8
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1655.2	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
	Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275.0	2275.0	2275.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**7348.0**	**7342.0**	**7350**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	5073.0	5067.0	5075.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813.0	2813.0	2813.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1803.4	1801.3	1804.1
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1802.9	

4. AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
	Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**18715.0**	**18731.0**	**18724**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13306.0	13322.0	13315.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1409.4	1411.1	1410.3
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1410.3	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
	Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**19628.0**	**19619.0**	**19637**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14219.0	14210.0	14228.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1506.1	1505.1	1507.0
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1506.1	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	*Balanza*	*Balanza*	*Horno*	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. MOLDES DE PESO UNITARIO

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.11. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022 – (M3)

Tabla 60

Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"				
SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			**REGISTRO:**	001
UBICACIÓN:	**DEPARTAMENTO:** Ayacucho	**PROVINCIA:**	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	**LOCALIDAD:**	Ayacucho	**FECHA:**	AGOSTO, 2024
ITEM:	._.				

1. MUESTRA			2. PERSONAL	
CANTERA:	CACHI - LA MODERNA	M-3	OPERADOR:	K.O.C
MATERIAL:	AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO		ASISTENTE:	W.A.J

3. AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

	IDENTIFICACION		ENSAYO N°01	ENSAYO N°02		PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	1017	1020		
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	1037	1,036.00		
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS	gr	634	632		
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.52	2.52		2.52
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.57	2.56		2.57
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.66	2.63		2.64
4	% de absoción	%	1.97	1.57		1.77

4. AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02		PROMEDIO
1	Peso al aire de la muestra secada	gr	196.74	196.29		
2	Peso del Picnometro aforado lleno de agua	gr	359.68	368.43		
3	Peso del Picnometro con la muestra y agua	gr	482.98	491.43		
	Peso de la muestra en SSS	gr	200.86	200.58		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.54	2.53		2.53
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.59	2.59		2.59
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.68	2.68		2.68
4	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	%	2.09	2.19		2.14

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	57.6
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	42.4
Gravedad especifica de los sólidos	**2.53**

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN					6. CANASTILLA - FIOLAS- CONO DE ABSORCION					
EQ	Balanza	Balanza	Horno		CANASTILLA	FIOLA	CONO DE ABSORCION			
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP							

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.1.12. Ensayos de contenidos de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M3)

Tabla 61

Ensayos de contenidos de humedad – cantera La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _.

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO I

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	IDENTIFICACIÓN	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm³)	1,410	1,655
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm³)	1,506	1,803
C	Gravedad Especifica de Masa	2.52	2.53
D	Peso de los Solidos (gr)	2,524.16	2,533.06
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto	44.13	34.66
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado	40.33	28.82

4. CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

	IDENTIFICACION		Agregado Grueso	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	373.78	366.46
2	Peso Seco de la muestra	gr	372.38	364.94
3	Peso del agua en la muestra	gr	1.4	1.52
4	% de absorcion	%	1.77	
	Contenido de Humedad	%	0.38	0.42
	Contenido de Humedad	%	0.40	
	Absorcion Efectiva	%	1.37	
	Humedad Superficial	%	0.00	

	IDENTIFICACION		Agregado Fino	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	337.65	341.90
2	Peso Seco de la muestra	gr	330.64	334.72
3	Peso del agua en la muestra	gr	7.01	7.18
4	% de absorcion	%	2.14	
	Contenido de Humedad	%	2.12	2.15
	Contenido de Humedad	%	2.13	
	Absorcion Efectiva	%	0.01	
	Humedad Superficial	%	0.00	

NOTA: EL AGREGADO FUE MUESTREADO EN OBRA, CUYA HUMEDAD EN ESE MOMENTO FUE LA QUE SE DETERMINA

5. EQUIPOS DE MEDICION

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. RECIPIENTES

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256044 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2. Propiedades físicas de los agregados cantera “Chillico”

B.2.1. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M1)

Tabla 62

Granulometría del agregado grueso – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR — REGISTRO: 001

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho — PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: AYACUCHO — LOCALIDAD: Ayacucho — FECHA: NOVIEMBRE, 2024

ITEM: . .

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

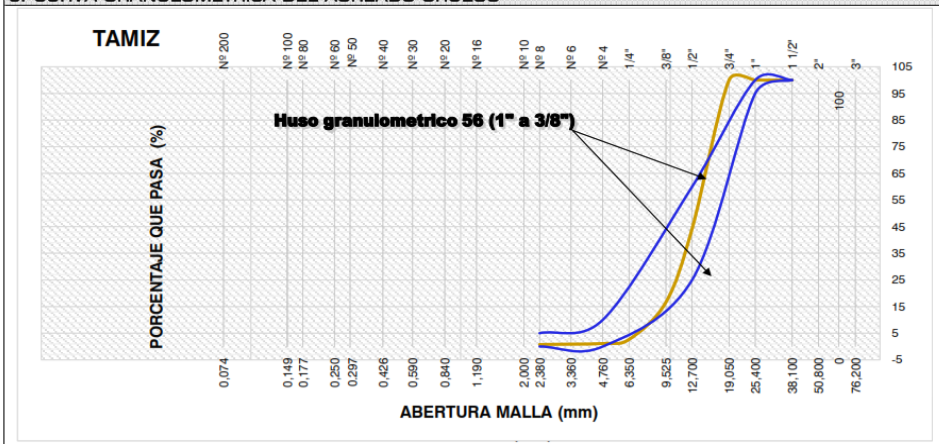
N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO PARCIAL%	PASANTE %	HUSO 56 (1"a 3/8")	
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400	0.00	0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00		
7	1/2"	12.700	1770.50	55.73	44.27	25	60
8	3/8"	9.525	877.90	27.64	16.63		
9	1/4"	6.350	444.40	13.99	2.64		
10	N°4	4.760	48.0	1.51	1.13	0	10
11	N°8	2.380	11.90	0.37	0.76	0.00	5.00
12	N°10	2.000	0.50	0.02	0.74		
13	N°16	1.190	0.20	0.01	0.73		
14	N°20	0.840	0.70	0.02	0.71		
15	N°30	0.590	0.60	0.02	0.69		
16	N°40	0.426	0.50	0.02	0.68		
17	N°50	0.297	0.60	0.02	0.66		
18	N°60	0.250	0.30	0.01	0.65		
19	N°80	0.177	0.80	0.03	0.62		
20	N°100	0.149	0.60	0.02	0.60		
21	N°200	0.075	1.300	0.04	0.56		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		17.9	0.56			
24	TOTAL		3176.7	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,177 g
Peso muestra seca y lavada		3,159 g
Perdida por lavado		18 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	98.87%	3,141 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	98.87%	3,141 g
% Arena	0.57%	18 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	0.39%	12 g
Arena Media-Hasta (N°40)	0.06%	2 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	0.11%	4 g
% Finos	0.56%	18 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	1.81
Curvatura (Cc)	1.05
D15(mm) =	9.15
D50(mm) =	13.35
D85(mm) =	17.34
Tamaño Maximo (Pulg)"	3/4
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/2
Gravedad especifica	2.47
Módulo de Fineza	6.79
Superficie especifica (cm2/gr)	5.82

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GRUESO



SUCS: GP — GRAVA MAL GRADUADA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	14.4926 mm
30	11.0610 mm
10	8.0202 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 206654 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 63

Granulometría del agregado fino – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO

MATERIAL: AGREGADO FINO

M-1

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

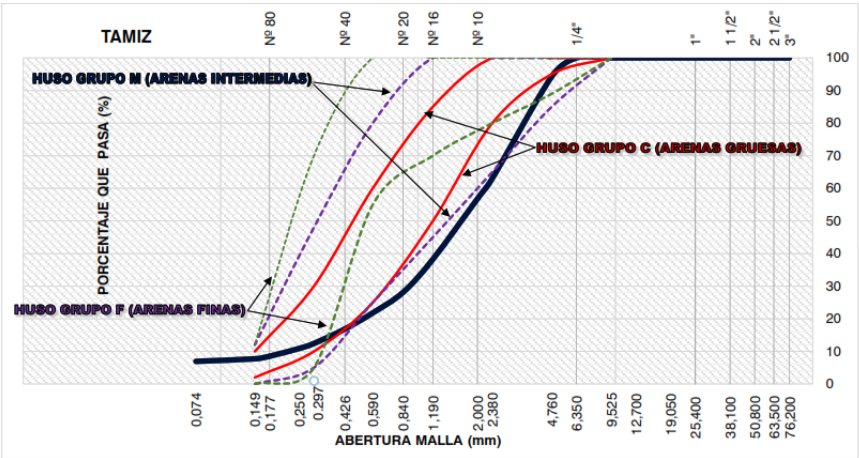
N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO %	PASANTE %	ESPECIF. LIM.	TOTAL
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400		0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00			
7	1/2"	12.700	0.00	0.00			
8	3/8"	9.525	0.00	0.00		100	
9	1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00		
10	N°4	4.760	180.9	5.69	94.31	89	100
11	N°8	2.380	993.80	31.26	63.05	65	100
12	N°10	2.000	198.90	6.26	56.79		
13	N°16	1.190	589.20	18.53	38.26	45	100
14	N°20	0.840	322.80	10.15	28.10		
15	N°30	0.590	200.50	6.31	21.80	25	100
16	N°40	0.426	156.90	4.94	16.86		
17	N°50	0.297	140.90	4.43	12.43	5	70
18	N°60	0.250	48.60	1.53	10.90		
19	N°80	0.177	75.90	2.39	8.51		
20	N°100	0.149	25.40	0.80	7.71	0	12
21	N°200	0.075	24.600	0.77	6.94		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		220.6	6.94			
24	TOTAL		3179.0	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,179 g
Peso muestra seca y lavada		2,958 g
Perdida por lavado		221 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	5.69%	181 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	5.69%	181 g
% Arena	87.37%	2,778 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	37.52%	1,193 g
Arena Media-Hasta (N°40)	39.93%	1,269 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	9.92%	315 g
% Finos	6.94%	221 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	9.86
Curvatura (Cc)	1.68
D15(mm) =	0.37
D50(mm) =	1.70
D85(mm) =	4.05
Tamaño Maximo (Pulg)"	1/4
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	N°4
Gravedad especifica	2.45
Módulo de Fineza	3.62
Superficie especifica (cm2/gr)	68.22

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO FINO (ARENA)



SUCS
SW-SM
ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	2.19 mm
30	0.91 mm
10	0.22 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	SE6001F	AUTOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 296634 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 64

Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL (NTP 400.012)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _ _

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

M-1

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

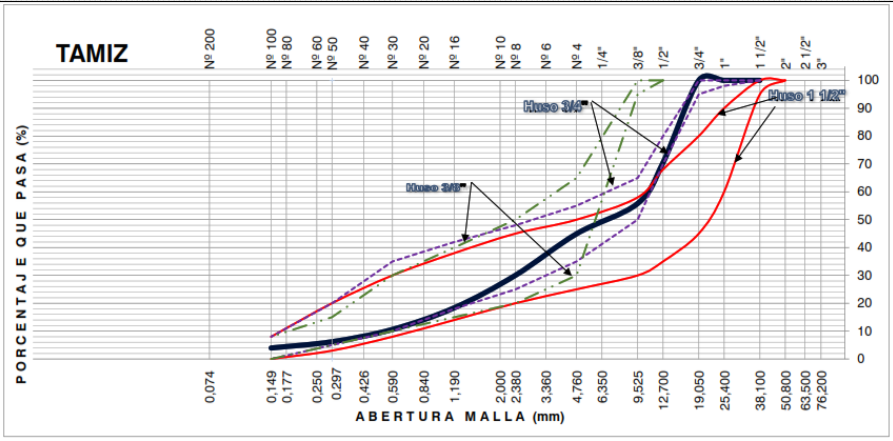
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO % PASA (A.G.)	RETENIDO % PASA (A.F.)	RETENIDO % ACUM.	PASANTE %	HUSO 3/4"	
1	3"	76.200	100.00	100.00	0.00			
2	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.00			
3	2"	50.800	100.00	100.00	0.00		100	95
4	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.00		95	60
5	1"	25.400	100.00	100.00	0.00		60	45
6	3/4"	19.050	100.00	100.00	0.00	100.00	45	35
7	1/2"	12.700	44.27	100.00	29.54	70.46	35	30
8	3/8"	9.525	16.63	100.00	44.19	55.81	30	0
9	1/4"	6.350	2.64	100.00	51.60	48.40	0	25
10	N°4	4.760	1.13	94.31	55.08	44.92	25	20
11	N°8	2.380	0.76	63.05	69.97	30.03	20	0
12	N°10	2.000	0.74	56.79	72.92	27.08	0	14
13	N°16	1.190	0.73	38.26	81.63	18.37	14	0
14	N°20	0.840	0.71	28.10	86.41	13.59	0	8
15	N°30	0.590	0.69	21.80	89.39	10.61	8	0
16	N°40	0.426	0.68	16.86	91.72	8.28	0	3
17	N°50	0.297	0.66	12.43	93.81	6.19	3	0
18	N°60	0.250	0.65	10.90	94.53	5.47	0	0
19	N°80	0.177	0.62	8.51	95.67	4.33	0	0
20	N°100	0.149	0.60	7.71	96.05	3.95	0	0
21	N°200	0.075	0.56	6.94	96.44	3.56		

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN	VALOR
ENSAYOS ESTANDAR	
% Grava	55.08%
% Arena	41.36%
% Finos	3.56%
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	19.07
Curvatura (Cc)	0.99
D15(mm) =	0.94
D50(mm) =	7.04
D85(mm) =	15.83
Tamaño Maximo (Pulg)"	3/4
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/2
Módulo de Fineza	5.30
% del Agregado Grueso	53.00
% del Agregado fino	47.00

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO GLOBAL



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	10.43 mm
30	2.38 mm
10	0.55 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno		
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP		

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.2. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017. – (M1)

Tabla 65

Peso unitario de los agregados – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _ _

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275	2275	2275
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**6661**	**6673**	**6669**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4386	4398	4394
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813	2813	2813
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1559.2	1563.5	1562.0
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1561.6	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275.0	2275.0	2275.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**7028.0**	**7034.0**	**7041**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4753.0	4759.0	4766.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813.0	2813.0	2813.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1689.7	1691.8	1694.3
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1691.9	

4. AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**18576.0**	**18573.0**	**18579**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13167.0	13164.0	13170.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1394.7	1394.3	1395.0
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1394.7	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**19419.0**	**19435.0**	**19457**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14010.0	14026.0	14048.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1484.0	1485.6	1488.0
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1485.9	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	*Balanza*	*Balanza*	*Horno*	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. MOLDES DE PESO UNITARIO

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.3. Ensayo de Pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022. – (M1)

Tabla 66

Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"				
SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO:	Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
DISTRITO:	AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	NOVIEMBRE, 2024
ITEM:	. .				

1. MUESTRA			2. PERSONAL	
CANTERA:	CHILLICO	M-1	OPERADOR:	K.O.C
MATERIAL:	AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO		ASISTENTE:	W.A.J

3. AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

	IDENTIFICACION		ENSAYO Nº01	ENSAYO Nº02		PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	1027	1037		
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	1047	1,079.00		
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS	gr	639	651		
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.52	2.42		2.47
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.57	2.52		2.54
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.65	2.69		2.67
4	% de absoción	%	1.95	4.05		3.00

4. AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02		PROMEDIO
1	Peso al aire de la muestra secada	gr	194.46	194.34		
2	Peso del Picnometro aforado lleno de agua	gr	359.68	368.43		
3	Peso del Picnometro con la muestra y agua	gr	480.99	489.37		
	Peso de la muestra en SSS	gr	200.69	200.19		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.45	2.45		2.45
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.53	2.53		2.53
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.66	2.65		2.65
4	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	%	3.20	3.01		3.11

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	55.1
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	44.9
Gravedad especifica de los sólidos	**2.46**

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN					6. CANASTILLA - FIOLAS- CONO DE ABSORCION					
EQ	Balanza	Balanza	Horno		CANASTILLA	FIOLA	CONO DE ABSORCION			
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP							

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266614 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.4. Ensayo de contenido de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M1)

Tabla 67

Ensayos de contenidos de humedad – cantera Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	IDENTIFICACIÓN	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm³)	1,395	1,562
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm³)	1,486	1,692
C	Gravedad Especifica de Masa	2.47	2.45
D	Peso de los Solidos (gr)	2,470.03	2,450.99
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto	43.54	36.29
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado	39.84	30.97

4. CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

	IDENTIFICACION		Agregado Grueso	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	540.22	534.72
2	Peso Seco de la muestra	gr	533.09	527.89
3	Peso del agua en la muestra	gr	7.13	6.83
4	% de absorcion	%	3.00	
	Contenido de Humedad	%	1.34	1.29
	Contenido de Humedad	%	1.32	
	Absorcion Efectiva	%	1.68	
	Humedad Superficial	%	0.00	

	IDENTIFICACION		Agregado Fino	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	471.22	437.50
2	Peso Seco de la muestra	gr	464.65	431.48
3	Peso del agua en la muestra	gr	6.57	6.02
4	% de absorcion	%	3.11	
	Contenido de Humedad	%	1.41	1.40
	Contenido de Humedad	%	1.40	
	Absorcion Efectiva	%	1.70	
	Humedad Superficial	%	0.00	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. RECIPIENTES

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AGUILAR YANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 208241 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.5. Ensayos de granulometría ASTM C 136 / NTP 400.012. – (M2)

Tabla 68

Granulometría del agregado grueso – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO — ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

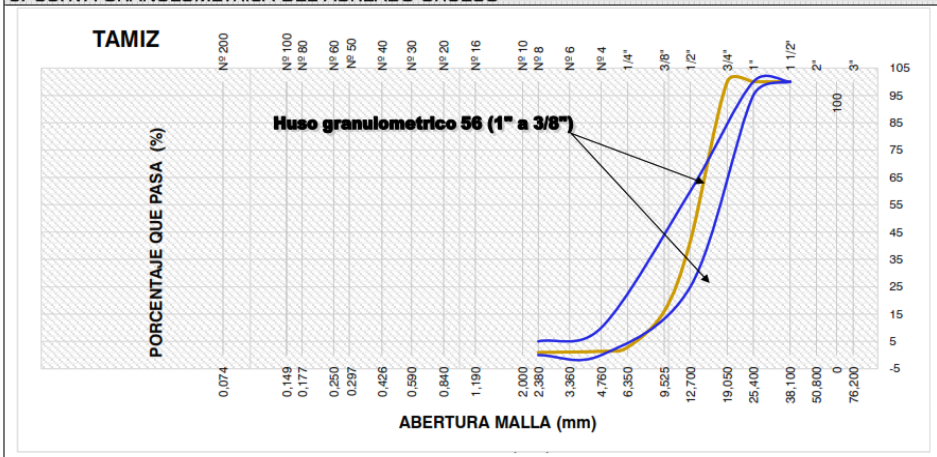
N°	ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO PARCIAL%	PASANTE %	HUSO 56 (1"a 3/8")	
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400	0.00	0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00		
7	1/2"	12.700	1862.80	58.23	41.77	25	60
8	3/8"	9.525	823.30	25.74	16.03		
9	1/4"	6.350	422.80	13.22	2.81		
10	N°4	4.760	45.4	1.42	1.39	0	10
11	N°8	2.380	13.50	0.42	0.97	0.00	5.00
12	N°10	2.000	0.40	0.01	0.96		
13	N°16	1.190	0.40	0.01	0.94		
14	N°20	0.840	0.70	0.02	0.92		
15	N°30	0.590	0.50	0.02	0.91		
16	N°40	0.426	0.50	0.02	0.89		
17	N°50	0.297	0.40	0.01	0.88		
18	N°60	0.250	0.30	0.01	0.87		
19	N°80	0.177	0.50	0.02	0.85		
20	N°100	0.149	0.30	0.01	0.84		
21	N°200	0.075	0.800	0.03	0.82		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		26.2	0.82			
24	TOTAL		3198.8	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,199 g
Peso muestra seca y lavada		3,173 g
Perdida por lavado		26 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	98.61%	3,154 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	98.61%	3,154 g
% Arena	0.57%	18 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	0.43%	14 g
Arena Media-Hasta (N°40)	0.07%	2 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	0.07%	2 g
% Finos	0.82%	26 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	1.82
Curvatura (Cc)	1.07
D15(mm) =	9.28
D50(mm) =	13.60
D85(mm) =	17.41
Tamaño Maximo (Pulg)"	3/4
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/2
Gravedad especifica	2.51
Módulo de Fineza	6.78
Superficie especifica (cm2/gr)	7.26

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO GRUESO



SUCS
GP
GRAVA MAL GRADUADA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	14.6883 mm
30	11.2486 mm
10	8.0770 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256614 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 69

Granulometría del agregado fino – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho — PROVINCIA: Huamanga — DISTRITO: AYACUCHO — LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001 — **FECHA:** NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-2

MATERIAL: AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

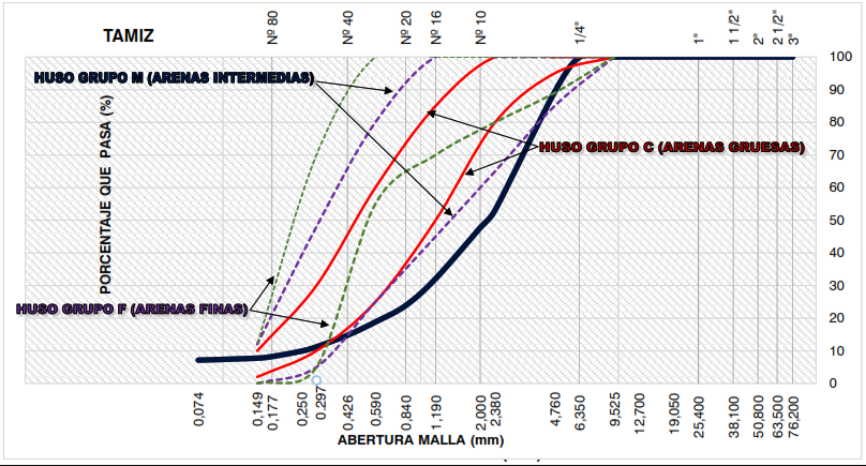
N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO PESO (g)	RETENIDO %	PASANTE %	ESPECIF. LIM.	TOTAL
1	3"	76.200		0.00			
2	2 1/2"	63.500		0.00			
3	2"	50.800		0.00			
4	1 1/2"	38.100		0.00			
5	1"	25.400		0.00			
6	3/4"	19.050	0.00	0.00			
7	1/2"	12.700	0.00	0.00			
8	3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00		100
9	1/4"	6.350	4.30	0.14	99.86		
10	N°4	4.760	330.6	10.55	89.31	89	100
11	N°8	2.380	1133.70	36.18	53.13	65	100
12	N°10	2.000	170.10	5.43	47.70		
13	N°16	1.190	488.70	15.60	32.10	45	100
14	N°20	0.840	257.90	8.23	23.87		
15	N°30	0.590	158.10	5.05	18.82	25	100
16	N°40	0.426	127.50	4.07	14.75		
17	N°50	0.297	110.70	3.53	11.22	5	70
18	N°60	0.250	40.90	1.31	9.91		
19	N°80	0.177	52.40	1.67	8.24		
20	N°100	0.149	15.30	0.49	7.75	0	12
21	N°200	0.075	19.000	0.61	7.15		
22	Fondo		0.0	0.00			
23	Lavado		223.9	7.15			
24	TOTAL		3133.1	100.00			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN		VALOR
DATOS GENERALES		
Peso muestra seca		3,133 g
Peso muestra seca y lavada		2,909 g
Perdida por lavado		224 g
ENSAYOS ESTANDAR		
% Grava	10.69%	335 g
Grava Gruesa-Hasta (N°1 1/2)	0.00%	0 g
Grava Fina-Hasta (N°4)	10.69%	335 g
% Arena	82.16%	2,574 g
Arena Gruesa-Hasta (N°10)	41.61%	1,304 g
Arena Media-Hasta (N°40)	32.95%	1,032 g
Arena Fina-Hasta (N°100)	7.61%	238 g
% Finos	7.15%	224 g

COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	11.19
Curvatura (Cc)	1.69
D15(mm) =	0.44
D50(mm) =	2.16
D85(mm) =	4.48
Tamaño Maximo (Pulg)"	3/8
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	N°4
Gravedad especifica	2.51
Módulo de Fineza	3.88
Superficie especifica (cm2/gr)	64.39

5. CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREADO FINO (ARENA)



SUCS
SW-SM
ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	2.83 mm
30	1.10 mm
10	0.25 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	SE6001F	AUTCOMP	

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELLHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266554 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Tabla 70

Granulometría del agregado fino, grueso y global – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL (NTP 400.012)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. TAMIZADO

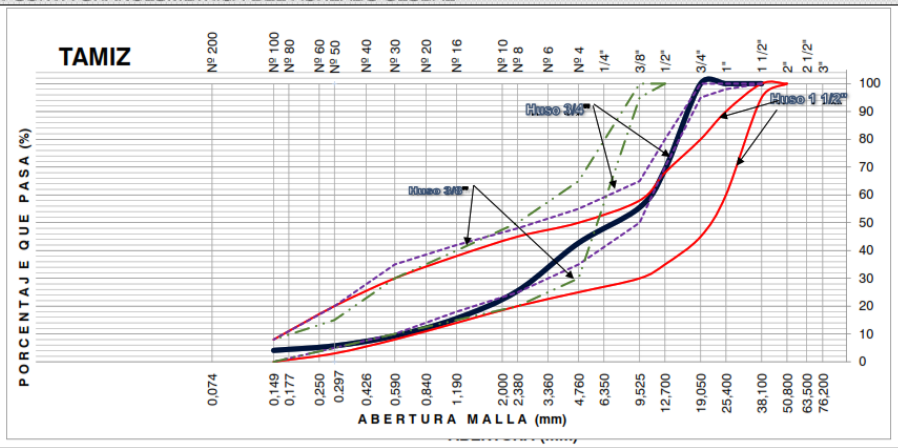
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

	TAMIZ N°	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	RETENIDO % PASA (A.G.)	RETENIDO % PASA (A.F.)	RETENIDO % ACUM.	PASANTE %	HUSO 3/4"	
1	3"	76.200	100.00	100.00	0.00				
2	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.00				
3	2"	50.800	100.00	100.00	0.00			100	95
4	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.00			95	60
5	1"	25.400	100.00	100.00	0.00			60	45
6	3/4"	19.050	100.00	100.00	0.00	100.00		45	35
7	1/2"	12.700	41.77	100.00	30.86	69.14		35	30
8	3/8"	9.525	16.03	100.00	44.51	55.49		30	0
9	1/4"	6.350	2.81	99.86	51.57	48.43		0	25
10	N°4	4.760	1.39	89.31	57.29	42.71		25	20
11	N°8	2.380	0.97	53.13	74.52	25.48		20	0
12	N°10	2.000	0.96	47.70	77.08	22.92		0	14
13	N°16	1.190	0.94	32.10	84.41	15.59		14	0
14	N°20	0.840	0.92	23.87	88.29	11.71		0	8
15	N°30	0.590	0.91	18.82	90.67	9.33		8	0
16	N°40	0.426	0.89	14.75	92.59	7.41		0	3
17	N°50	0.297	0.88	11.22	94.26	5.74		3	0
18	N°60	0.250	0.87	9.91	94.88	5.12		0	0
19	N°80	0.177	0.85	8.24	95.67	4.33		0	0
20	N°100	0.149	0.84	7.75	95.91	4.09		0	0
21	N°200	0.075	0.82	7.15	96.21	3.79			

4. RESUMEN

DESCRIPCIÓN	VALOR
ENSAYOS ESTANDAR	
% Grava	57.29%
% Arena	38.92%
% Finos	3.79%
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	16.00
Curvatura (Cc)	1.29
D15(mm) =	1.14
D50(mm) =	7.06
D85(mm) =	15.96
Tamaño Maximo (Pulg)"	3/4
Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/2
Módulo de Fineza	5.42
% del Agregado Grueso	53.00
% del Agregado fino	47.00

5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREADO GLOBAL



SUCS
GW
GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA

DIAMETROS	
D_i	Abertura
60	10.57 mm
30	3.00 mm
10	0.66 mm

6. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno		
ID	SE6001F	R31P30	AUTOCOMP		

7. TAMICES

Tamiz 2"	Tamiz 3/8"	Tamiz # 4	Tamiz # 10	Tamiz # 40	Tamiz #200
FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY	FORNEY

8. DESCRIPCION DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaboredo por:	Revisado por:	
WELHINER AQUISE TANAMPA INGENIERO CIVIL AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.6. Ensayos de pesos unitarios ASTM C-29 / NTP 400.017. – (M2)

***Tabla* 71**

Peso unitario de los agregados – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR — **REGISTRO:** 001

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho — PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: AYACUCHO — LOCALIDAD: Ayacucho — **FECHA:** NOVIEMBRE, 2024

ITEM: _.

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275	2275	2275
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**6676**	**6682**	**6689**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4401	4407	4414
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813	2813	2813
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1564.5	1566.7	1569.1
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1566.8	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	2275.0	2275.0	2275.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**7100.0**	**7108.0**	**7126**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4825.0	4833.0	4851.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2813.0	2813.0	2813.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1715.3	1718.1	1724.5
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1719.3	

4. AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**18801.0**	**18811.0**	**18822**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13392.0	13402.0	13413.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1418.5	1419.6	1420.7
	PROMEDIO PUSS (Kg/m^3)		1419.6	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
Nº DE ENSAYO		Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A	Peso Molde (gr)	5409.0	5409.0	5409.0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	**19511.0**	**19529.0**	**19538**
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14102.0	14120.0	14129.0
D	Volumen del Molde (cm^3)	9441.0	9441.0	9441.0
E	Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m^3) = (C)/(D)	1493.7	1495.6	1496.6
	PROMEDIO PUCS (Kg/m^3)		1495.3	

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	*Balanza*	*Balanza*	*Horno*	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. MOLDES DE PESO UNITARIO

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP Nº 268464 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.7. Ensayo de pesos específicos y absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 - ASTM C 128 / NTP 400.022. – (M2)

Tabla 72

Ensayo de pesos específicos y absorción de agregados – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

	IDENTIFICACION		ENSAYO Nº01	ENSAYO Nº02		PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	1019	1010		
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	1042	1036		
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS	gr	637	633		
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.52	2.51		2.51
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.57	2.57		2.57
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.67	2.68		2.67
4	% de absoción	%	2.26	2.57		2.42

4. AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02		PROMEDIO
1	Peso al aire de la muestra secada	gr	195.67	196.33		
2	Peso del Picnometro aforado lleno de agua	gr	359.68	368.43		
3	Peso del Picnometro con la muestra y agua	gr	481.87	490.93		
	Peso de la muestra en SSS	gr	200.35	200.82		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.50	2.51		2.51
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.56	2.56		2.56
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.66	2.66		2.66
4	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	%	2.39	2.29		2.34

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	57.3
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	42.7
Gravedad especifica de los sólidos	**2.51**

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. CANASTILLA - FIOLAS- CONO DE ABSORCION

CANASTILLA	FIOLA	CONO DE ABSORCION			

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. WELHNER ADHISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256614 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

B.2.8. Ensayo de contenido de humedad ASTM C 566 / NTP 339.185 – (M2)

Tabla 73

Ensayos de contenidos de humedad – cantera Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho; PROVINCIA: Huamanga; DISTRITO: AYACUCHO; LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	IDENTIFICACIÓN	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm³)	1,420	1,567
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm³)	1,495	1,719
C	Gravedad Especifica de Masa	2.51	2.51
D	Peso de los Solidos (gr)	2,511.13	2,505.11
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto	43.47	37.46
	Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado	40.45	31.37

4. CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

	IDENTIFICACION		Agregado Grueso	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	558.01	528.36
2	Peso Seco de la muestra	gr	551.90	522.83
3	Peso del agua en la muestra	gr	6.11	5.53
4	% de absorcion	%	2.42	
	Contenido de Humedad	%	1.11	1.06
	Contenido de Humedad	%	1.08	
	Absorcion Efectiva	%	1.33	
	Humedad Superficial	%	0.00	

	IDENTIFICACION		Agregado Fino	
1	Peso Humedo de la muestra	gr	486.60	498.57
2	Peso Seco de la muestra	gr	479.48	491.35
3	Peso del agua en la muestra	gr	7.12	7.22
4	% de absorcion	%	2.34	
	Contenido de Humedad	%	1.48	1.47
	Contenido de Humedad	%	1.48	
	Absorcion Efectiva	%	0.86	
	Humedad Superficial	%	0.00	

NOTA: EL AGREGADO FUE MUESTREADO EN OBRA, CUYA HUMEDAD EN ESE MOMENTO FUE LA QUE SE DETERMINA

5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ	Balanza	Balanza	Horno	
ID	SE6001F	R31P30	AUTCOMP	

6. RECIPIENTES

7. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	Revisado por:	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256614 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Anexo C

C.1. Diseños de mezclas concreto cantera “La Moderna” (laboratorio)

C.1.1. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M1)

Tabla 74

Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	._.				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	CACHI - LA MODERNA	CACHI - LA MODERNA
MATERIAL	:AGREGADO GRUESO PIEDRA CHANCADA	:AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADO MALL
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUSS (kg/m3)	1474.4	1655.4
PUCS (kg/m3)	1537.2	1752.7
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.5	2.6
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.6	2.7
ABSORCION (%)	1.6	1.8
HUMEDAD (%)	0.7	2.6
MODULO DE FINEZA	7.1	3.5
TAMAÑO MAXIMO	1.0	-.-
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4	-.-
PUSH (kg/m3)	1484	1699

4. DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	I
PESO ESPECIFICO	3.15

5. RESISTENCIA PROMEDIO f'cr

RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		280	f'cr =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		245	f'cr =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		210	f'cr =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		175	f'cr =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		140	f'cr =	210 kg/cm2

6. ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"			
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA	3"-4"	MEZCLA PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"			

7. CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "	AIRE ATRAPADO	2.0 %

8. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "			
6. ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	205	lt/m3

9. ADITIVO

TIPO DE ADITIVO	-.-	MARCA	-.-
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	DOSIS (% del peso de cemento)	0

10. RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f'c (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)	ADITIVO (gr/m3)	ADITIVO (lt/m3)
		0.45	455.6	10.7	0.1446	0.0000	0.0000
		0.50	410.0	9.6	0.1302	0.0000	0.0000
280	364	0.49	419.4	9.9	0.1331	0.0000	0.0000
245	329	0.53	388.4	9.1	0.1233	0.0000	0.0000
210	294	0.57	358.6	8.4	0.1138	0.0000	0.0000
175	245	0.64	319.6	7.5	0.1015	0.0000	0.0000
140	210	0.70	294.1	6.9	0.0934	0.0000	0.0000

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	. _ .				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

11. SELECCION DE LOS AGREGADOS

		METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
w/c o f'c (kg/cm2)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.630	0.338	0.292	0.320	0.311	0.334	0.296
0.50	0.645	0.338	0.292	0.312	0.332	0.342	0.303
280	0.642	0.338	0.292	0.314	0.328	0.340	0.302
245	0.652	0.338	0.292	0.309	0.343	0.345	0.306
210	0.661	0.338	0.292	0.303	0.358	0.350	0.311
175	0.674	0.338	0.292	0.296	0.378	0.357	0.317
140	0.682	0.338	0.292	0.290	0.391	0.361	0.320

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO=	0.548
MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	3.52
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	3/4 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	10.7	5.32	49.3	50.7
w/c=0.50	9.6	5.24	51.6	48.4
280	9.9	5.25	51.1	48.9
245	9.1	5.20	52.7	47.3
210	8.4	5.15	54.2	45.8
175	7.5	5.08	56.1	43.9
140	6.9	5.03	57.4	42.6

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso	53.00	%
% del Agregado fino	47.00	%

12. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	747.3	842.1	205.0	0.0	2250.0
	0.50	410.0	747.3	842.1	205.0	0.0	2204.4
280		419.4	747.3	842.1	205.0	0.0	2213.8
245		388.4	747.3	842.1	205.0	0.0	2182.8
210		358.6	747.3	842.1	205.0	0.0	2153.0
175		319.6	747.3	842.1	205.0	0.0	2114.1
140		294.1	747.3	842.1	205.0	0.0	2088.5

13. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	794.8	795.9	205.0	0.0	2251.3
	0.50	410.0	851.0	777.3	205.0	0.0	2243.3
280		419.4	839.3	781.2	205.0	0.0	2244.9
245		388.4	878.2	767.9	205.0	0.0	2239.5
210		358.6	916.5	754.3	205.0	0.0	2234.3
175		319.6	967.5	735.4	205.0	0.0	2227.6
140		294.1	1001.6	722.4	205.0	0.0	2223.1

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

14. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	758.3	831.4	205.0	0.0	2250.3
	0.50	410.0	775.7	850.5	205.0	0.0	2241.2
280		419.4	772.1	846.5	205.0	0.0	2243.1
245		388.4	784.0	859.5	205.0	0.0	2236.9
210		358.6	795.4	872.0	205.0	0.0	2231.0
175		319.6	810.2	888.3	205.0	0.0	2223.2
140		294.1	820.0	899.0	205.0	0.0	2218.1

15. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	767.1	847.7	207.1	0.0	2277.5
	0.50	410.0	767.1	847.7	207.1	0.0	2232.0
280		419.4	767.1	847.7	207.1	0.0	2241.4
245		388.4	767.1	847.7	207.1	0.0	2210.4
210		358.6	767.1	847.7	207.1	0.0	2180.6
175		319.6	767.1	847.7	207.1	0.0	2141.6
140		294.1	767.1	847.7	207.1	0.0	2116.1

16. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	815.9	801.2	206.3	0.0	2279.0
	0.50	410.0	873.5	782.5	205.7	0.0	2271.7
280		419.4	861.5	786.5	205.8	0.0	2273.2
245		388.4	901.4	773.0	205.4	0.0	2268.2
210		358.6	940.7	759.3	204.9	0.0	2263.5
175		319.6	993.1	740.3	204.3	0.0	2257.4
140		294.1	1028.1	727.3	203.9	0.0	2253.4

17. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	778.4	837.0	206.9	0.0	2277.8
	0.50	410.0	796.2	856.2	207.0	0.0	2269.4
280		419.4	792.5	852.2	207.0	0.0	2271.1
245		388.4	804.7	865.3	207.0	0.0	2265.4
210		358.6	816.4	877.8	207.0	0.0	2259.9
175		319.6	831.6	894.3	207.1	0.0	2252.6
140		294.1	841.6	905.0	207.1	0.0	2247.9

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

18. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE 1)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	776.6	813.7	205.0	0.0	2250.8
	0.50	410.0	813.4	813.9	205.0	0.0	2242.3
280		419.4	805.7	813.9	205.0	0.0	2244.0
245		388.4	831.1	813.7	205.0	0.0	2238.2
210		358.6	855.9	813.1	205.0	0.0	2232.6
175		319.6	888.9	811.9	205.0	0.0	2225.4
140		294.1	910.8	810.7	205.0	0.0	2220.6

19. DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.70	1.79	19.1	0.0
	0.50	1.00	1.98	1.99	21.3	0.0
280		1.00	1.92	1.94	20.8	0.0
245		1.00	2.14	2.09	22.4	0.0
210		1.00	2.39	2.27	24.3	0.0
175		1.00	2.78	2.54	27.3	0.0
140		1.00	3.10	2.76	29.6	0.0

20. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	797.1	819.1	206.6	0.0	2278.4
	0.50	410.0	834.9	819.3	206.3	0.0	2270.5
280		419.4	827.0	819.4	206.4	0.0	2272.2
245		388.4	853.1	819.1	206.2	0.0	2266.8
210		358.6	878.5	818.6	206.0	0.0	2261.7
175		319.6	912.4	817.3	205.7	0.0	2255.0
140		294.1	934.9	816.1	205.5	0.0	2250.6

21. DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.75	1.80	19.3	0.0
	0.50	1.00	2.04	2.00	21.4	0.0
280		1.00	1.97	1.95	20.9	0.0
245		1.00	2.20	2.11	22.6	0.0
210		1.00	2.45	2.28	24.4	0.0
175		1.00	2.85	2.56	27.4	0.0
140		1.00	3.18	2.77	29.7	0.0

22. DOSIFICACION EN VOLUMEN POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (bls)	AGREGADO FINO (m3)	AGREGADO GRUESO (m3)	AGUA de Diseño (lt)	AGUA Efectiva (lt)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	10.7	0.47	0.55	205.0	206.6	0.0
	0.50	9.6	0.49	0.55	205.0	206.3	0.0
280		9.9	0.49	0.55	205.0	206.4	0.0
245		9.1	0.50	0.55	205.0	206.2	0.0
210		8.4	0.52	0.55	205.0	206.0	0.0
175		7.5	0.54	0.55	205.0	205.7	0.0
140		6.9	0.55	0.55	205.0	205.5	0.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: **DEPARTAMENTO:** Ayacucho **PROVINCIA:** Huamanga **DISTRITO:** AYACUCHO **LOCALIDAD:** Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

23. DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.55	1.82	19.3	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.80	2.02	21.4	0.0
280	Resistencia	1.0	1.74	1.98	20.9	0.0
245	Resistencia	1.0	1.94	2.13	22.6	0.0
210	Resistencia	1.0	2.16	2.31	24.4	0.0
175	Resistencia	1.0	2.52	2.59	27.4	0.0
140	Resistencia	1.0	2.81	2.81	29.7	0.0

24. DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE 1 (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.5	1.8	19	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.8	2.0	21	0.0
280	Resistencia	1.0	1.7	2.0	21	0.0
245	Resistencia	1.0	1.9	2.1	22	0.0
210	Resistencia	1.0	2.2	2.3	24	0.0
175	Resistencia	1.0	2.5	2.6	27	0.0
140	Resistencia	1.0	2.8	2.8	30	0.0

25. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 256684 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

C.1.2. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M2)

Tabla 75

Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO:	Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
DISTRITO:	AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	. _ .				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	CACHI - LA MODERNA	CACHI - LA MODERNA
MATERIAL	:AGREGADO GRUESO PIEDRA CHANCADA	:AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADO MALL
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUSS (kg/m3)	1417.8	1598.3
PUCS (kg/m3)	1497.7	1732.7
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.6	2.5
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.7	2.7
ABSORCION (%)	1.8	2.1
HUMEDAD (%)	0.7	3.6
MODULO DE FINEZA	7.2	3.2
TAMAÑO MAXIMO	1.0	-.-
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4	-.-
PUSH (kg/m3)	1427	1655

4. DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	I
PESO ESPECIFICO	3.15

5. RESISTENCIA PROMEDIO f'cr

RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		280	f'cr =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		245	f'cr =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		210	f'cr =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		175	f'cr =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		140	f'cr =	210 kg/cm2

6. ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"			
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA	3"-4"	MEZCLA PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"			

7. CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "	AIRE ATRAPADO	2.0 %

8. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "			
6. ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	205	lt/m3

9. ADITIVO

TIPO DE ADITIVO	-.-	MARCA	-.-
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	DOSIS (% del peso de cemento)	0

10. RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f'c (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)	ADITIVO (gr/m3)	ADITIVO (lt/m3)
		0.45	455.6	10.7	0.1446	0.0000	0.0000
		0.50	410.0	9.6	0.1302	0.0000	0.0000
280	364	0.49	419.4	9.9	0.1331	0.0000	0.0000
245	329	0.53	388.4	9.1	0.1233	0.0000	0.0000
210	294	0.57	358.6	8.4	0.1138	0.0000	0.0000
175	245	0.64	319.6	7.5	0.1015	0.0000	0.0000
140	210	0.70	294.1	6.9	0.0934	0.0000	0.0000

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR					REGISTRO:	001
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO:	Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga			
	DISTRITO:	AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho		FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	. _ .						

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

11. SELECCION DE LOS AGREGADOS

		METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
w/c o f'c (kg/cm2)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.630	0.343	0.288	0.336	0.295	0.334	0.296
0.50	0.645	0.343	0.288	0.331	0.314	0.342	0.303
280	0.642	0.343	0.288	0.332	0.310	0.340	0.302
245	0.652	0.343	0.288	0.328	0.324	0.345	0.306
210	0.661	0.343	0.288	0.324	0.337	0.350	0.311
175	0.674	0.343	0.288	0.318	0.355	0.357	0.317
140	0.682	0.343	0.288	0.315	0.367	0.361	0.320

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO=	0.584
MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	3.16
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	3/4 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	10.7	5.32	46.7	53.3
w/c=0.50	9.6	5.24	48.7	51.3
280	9.9	5.25	48.3	51.7
245	9.1	5.20	49.7	50.3
210	8.4	5.15	51.0	49.0
175	7.5	5.08	52.7	47.3
140	6.9	5.03	53.8	46.2

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso	53.00	%
% del Agregado fino	47.00	%

12. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	733.0	874.9	205.0	0.0	2268.5
	0.50	410.0	733.0	874.9	205.0	0.0	2223.0
280		419.4	733.0	874.9	205.0	0.0	2232.4
245		388.4	733.0	874.9	205.0	0.0	2201.4
210		358.6	733.0	874.9	205.0	0.0	2171.6
175		319.6	733.0	874.9	205.0	0.0	2132.6
140		294.1	733.0	874.9	205.0	0.0	2107.1

13. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	750.3	857.6	205.0	0.0	2268.5
	0.50	410.0	800.5	844.2	205.0	0.0	2259.7
280		419.4	790.0	847.1	205.0	0.0	2261.5
245		388.4	824.8	837.4	205.0	0.0	2255.6
210		358.6	858.9	827.3	205.0	0.0	2249.9
175		319.6	904.5	813.3	205.0	0.0	2242.4
140		294.1	934.9	803.5	205.0	0.0	2237.5

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

14. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	754.8	853.2	205.0	0.0	2268.5
	0.50	410.0	772.1	872.7	205.0	0.0	2259.8
280		419.4	768.5	868.7	205.0	0.0	2261.6
245		388.4	780.3	882.0	205.0	0.0	2255.7
210		358.6	791.6	894.8	205.0	0.0	2250.0
175		319.6	806.4	911.6	205.0	0.0	2242.6
140		294.1	816.1	922.5	205.0	0.0	2237.8

15. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	759.1	880.9	204.1	0.0	2299.6
	0.50	410.0	759.1	880.9	204.1	0.0	2254.1
280		419.4	759.1	880.9	204.1	0.0	2263.5
245		388.4	759.1	880.9	204.1	0.0	2232.5
210		358.6	759.1	880.9	204.1	0.0	2202.7
175		319.6	759.1	880.9	204.1	0.0	2163.7
140		294.1	759.1	880.9	204.1	0.0	2138.2

16. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	777.0	863.4	203.6	0.0	2299.6
	0.50	410.0	829.0	849.9	202.7	0.0	2291.7
280		419.4	818.1	852.8	202.9	0.0	2293.3
245		388.4	854.2	843.0	202.3	0.0	2287.9
210		358.6	889.5	832.9	201.7	0.0	2282.7
175		319.6	936.6	818.8	200.9	0.0	2276.0
140		294.1	968.1	808.9	200.3	0.0	2271.5

17. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	781.6	858.9	203.5	0.0	2299.6
	0.50	410.0	799.5	878.7	203.5	0.0	2291.7
280		419.4	795.8	874.6	203.5	0.0	2293.3
245		388.4	808.0	888.0	203.5	0.0	2287.9
210		358.6	819.8	900.9	203.4	0.0	2282.7
175		319.6	835.1	917.7	203.4	0.0	2275.9
140		294.1	845.2	928.8	203.4	0.0	2271.4

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . _ .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

18. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE 1)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	752.5	855.4	205.0	0.0	2268.5
	0.50	410.0	786.3	858.5	205.0	0.0	2259.8
280		419.4	779.3	857.9	205.0	0.0	2261.6
245		388.4	802.6	859.7	205.0	0.0	2255.7
210		358.6	825.3	861.1	205.0	0.0	2250.0
175		319.6	855.5	862.4	205.0	0.0	2242.5
140		294.1	875.5	863.0	205.0	0.0	2237.6

19. DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.65	1.88	19.1	0.0
	0.50	1.00	1.92	2.09	21.3	0.0
280		1.00	1.86	2.05	20.8	0.0
245		1.00	2.07	2.21	22.4	0.0
210		1.00	2.30	2.40	24.3	0.0
175		1.00	2.68	2.70	27.3	0.0
140		1.00	2.98	2.93	29.6	0.0

20. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	779.3	861.2	203.6	0.0	2299.6
	0.50	410.0	814.3	864.3	203.1	0.0	2291.7
280		419.4	807.0	863.7	203.2	0.0	2293.3
245		388.4	831.1	865.5	202.9	0.0	2287.9
210		358.6	854.6	866.9	202.6	0.0	2282.7
175		319.6	885.9	868.3	202.1	0.0	2275.9
140		294.1	906.6	868.9	201.9	0.0	2271.5

21. DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.71	1.89	19.0	0.0
	0.50	1.00	1.99	2.11	21.1	0.0
280		1.00	1.92	2.06	20.6	0.0
245		1.00	2.14	2.23	22.2	0.0
210		1.00	2.38	2.42	24.0	0.0
175		1.00	2.77	2.72	26.9	0.0
140		1.00	3.08	2.95	29.2	0.0

22. DOSIFICACION EN VOLUMEN POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (bls)	AGREGADO FINO (m3)	AGREGADO GRUESO (m3)	AGUA de Diseño (lt)	AGUA Efectiva (lt)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	10.7	0.47	0.60	205.0	203.6	0.0
	0.50	9.6	0.49	0.61	205.0	203.1	0.0
280		9.9	0.49	0.61	205.0	203.2	0.0
245		9.1	0.50	0.61	205.0	202.9	0.0
210		8.4	0.52	0.61	205.0	202.6	0.0
175		7.5	0.54	0.61	205.0	202.1	0.0
140		6.9	0.55	0.61	205.0	201.9	0.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			**REGISTRO:**	001
UBICACIÓN:	**DEPARTAMENTO:** Ayacucho	**PROVINCIA:**	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	**LOCALIDAD:**	Ayacucho	**FECHA:**	AGOSTO, 2024
ITEM:	. _ .				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

23. DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.55	1.99	19.0	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.80	2.22	21.1	0.0
280	Resistencia	1.0	1.74	2.17	20.6	0.0
245	Resistencia	1.0	1.94	2.34	22.2	0.0
210	Resistencia	1.0	2.16	2.54	24.0	0.0
175	Resistencia	1.0	2.51	2.86	26.9	0.0
140	Resistencia	1.0	2.79	3.11	29.2	0.0

24. DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE 1 (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.6	2.0	19	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.8	2.2	21	0.0
280	Resistencia	1.0	1.7	2.2	21	0.0
245	Resistencia	1.0	1.9	2.3	22	0.0
210	Resistencia	1.0	2.2	2.5	24	0.0
175	Resistencia	1.0	2.5	2.9	27	0.0
140	Resistencia	1.0	2.8	3.1	29	0.0

25. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266644 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

C.1.3. Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M3)

Tabla 76

Diseños de mezclas de concreto – La Moderna (M3)

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE:	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	AGOSTO, 2024
ITEM:	._.				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	CACHI - LA MODERNA	CACHI - LA MODERNA
MATERIAL	:AGREGADO GRUESO PIEDRA CHANCADA	:AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADO MALL
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUSS (kg/m3)	1410.3	1655.2
PUCS (kg/m3)	1506.1	1802.9
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.5	2.5
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.6	2.7
ABSORCION (%)	1.8	2.1
HUMEDAD (%)	0.4	2.1
MODULO DE FINEZA	7.3	3.4
TAMAÑO MAXIMO	1.0	-.-
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4	-.-
PUSH (kg/m3)	1416	1690

4. DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	I
PESO ESPECIFICO	3.15

5. RESISTENCIA PROMEDIO f'cr

RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		280	f'cr =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		245	f'cr =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		210	f'cr =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		175	f'cr =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		140	f'cr =	210 kg/cm2

6. ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"			
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA	3"-4"	MEZCLA PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"			

7. CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "		AIRE ATRAPADO	2.0 %

8. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4 "			
6. ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	205	lt/m3

9. ADITIVO

TIPO DE ADITIVO	-.-	MARCA	-.-
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	DOSIS (% del peso de cemento)	0

10. RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f'c (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)	ADITIVO (gr/m3)	ADITIVO (lt/m3)
		0.45	455.6	10.7	0.1446	0.0000	0.0000
		0.50	410.0	9.6	0.1302	0.0000	0.0000
280	364	0.49	419.4	9.9	0.1331	0.0000	0.0000
245	329	0.53	388.4	9.1	0.1233	0.0000	0.0000
210	294	0.57	358.6	8.4	0.1138	0.0000	0.0000
175	245	0.64	319.6	7.5	0.1015	0.0000	0.0000
140	210	0.70	294.1	6.9	0.0934	0.0000	0.0000

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . _ .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

11. SELECCION DE LOS AGREGADOS

		METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
w/c o f'c (kg/cm2)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.630	0.334	0.296	0.308	0.322	0.334	0.296
0.50	0.645	0.334	0.296	0.302	0.343	0.342	0.303
280	0.642	0.334	0.296	0.303	0.339	0.340	0.302
245	0.652	0.334	0.296	0.298	0.353	0.345	0.306
210	0.661	0.334	0.296	0.294	0.367	0.350	0.311
175	0.674	0.334	0.296	0.287	0.386	0.357	0.317
140	0.682	0.334	0.296	0.283	0.399	0.361	0.320

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO=	0.561
MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	3.39
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	3/4 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	10.7	5.32	51.2	48.8
w/c=0.50	9.6	5.24	53.2	46.8
280	9.9	5.25	52.8	47.2
245	9.1	5.20	54.2	45.8
210	8.4	5.15	55.6	44.4
175	7.5	5.08	57.3	42.7
140	6.9	5.03	58.5	41.5

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso	53.00	%
% del Agregado fino	47.00	%

12. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	749.5	844.3	205.0	0.0	2254.4
	0.50	410.0	749.5	844.3	205.0	0.0	2208.8
280		419.4	749.5	844.3	205.0	0.0	2218.2
245		388.4	749.5	844.3	205.0	0.0	2187.2
210		358.6	749.5	844.3	205.0	0.0	2157.4
175		319.6	749.5	844.3	205.0	0.0	2118.5
140		294.1	749.5	844.3	205.0	0.0	2092.9

13. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	816.8	777.3	205.0	0.0	2254.6
	0.50	410.0	869.3	761.5	205.0	0.0	2245.7
280		419.4	858.3	764.8	205.0	0.0	2247.6
245		388.4	894.7	753.4	205.0	0.0	2241.5
210		358.6	930.3	741.8	205.0	0.0	2235.7
175		319.6	977.9	725.6	205.0	0.0	2228.2
140		294.1	1009.7	714.4	205.0	0.0	2223.2

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _ _

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

14. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	750.5	843.3	205.0	0.0	2254.4
	0.50	410.0	767.7	862.7	205.0	0.0	2245.4
280		419.4	764.2	858.7	205.0	0.0	2247.2
245		388.4	775.9	871.8	205.0	0.0	2241.1
210		358.6	787.1	884.5	205.0	0.0	2235.2
175		319.6	801.9	901.0	205.0	0.0	2227.5
140		294.1	811.5	911.9	205.0	0.0	2222.5

15. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	765.5	847.6	216.6	0.0	2285.3
	0.50	410.0	765.5	847.6	216.6	0.0	2239.8
280		419.4	765.5	847.6	216.6	0.0	2249.2
245		388.4	765.5	847.6	216.6	0.0	2218.2
210		358.6	765.5	847.6	216.6	0.0	2188.4
175		319.6	765.5	847.6	216.6	0.0	2149.4
140		294.1	765.5	847.6	216.6	0.0	2123.9

16. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	834.2	780.3	215.7	0.0	2285.8
	0.50	410.0	887.8	764.5	215.5	0.0	2277.8
280		419.4	876.6	767.9	215.6	0.0	2279.5
245		388.4	913.8	756.4	215.4	0.0	2274.0
210		358.6	950.2	744.7	215.2	0.0	2268.8
175		319.6	998.8	728.5	215.0	0.0	2261.9
140		294.1	1031.2	717.3	214.9	0.0	2257.4

17. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	766.5	846.7	216.6	0.0	2285.3
	0.50	410.0	784.1	866.1	216.9	0.0	2277.1
280		419.4	780.5	862.1	216.8	0.0	2278.8
245		388.4	792.4	875.3	217.0	0.0	2273.1
210		358.6	803.9	888.0	217.2	0.0	2267.7
175		319.6	819.0	904.6	217.4	0.0	2260.6
140		294.1	828.8	915.5	217.6	0.0	2256.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . _ .

REGISTRO: 001

FECHA: AGOSTO, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

18. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE 1)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	783.6	810.3	205.0	0.0	2254.5
	0.50	410.0	818.5	812.1	205.0	0.0	2245.6
280		419.4	811.2	811.8	205.0	0.0	2247.4
245		388.4	835.3	812.6	205.0	0.0	2241.3
210		358.6	858.7	813.2	205.0	0.0	2235.5
175		319.6	889.9	813.3	205.0	0.0	2227.9
140		294.1	910.6	813.2	205.0	0.0	2222.9

19. DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.72	1.78	19.1	0.0
	0.50	1.00	2.00	1.98	21.3	0.0
280		1.00	1.93	1.94	20.8	0.0
245		1.00	2.15	2.09	22.4	0.0
210		1.00	2.39	2.27	24.3	0.0
175		1.00	2.78	2.54	27.3	0.0
140		1.00	3.10	2.76	29.6	0.0

20. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	455.6	800.4	813.5	216.2	0.0	2285.6
	0.50	410.0	836.0	815.3	216.2	0.0	2277.4
280		419.4	828.5	815.0	216.2	0.0	2279.1
245		388.4	853.1	815.9	216.2	0.0	2273.6
210		358.6	877.1	816.4	216.2	0.0	2268.2
175		319.6	908.9	816.6	216.2	0.0	2261.3
140		294.1	930.0	816.4	216.2	0.0	2256.7

21. DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.76	1.79	20.2	0.0
	0.50	1.00	2.04	1.99	22.4	0.0
280		1.00	1.98	1.94	21.9	0.0
245		1.00	2.20	2.10	23.7	0.0
210		1.00	2.45	2.28	25.6	0.0
175		1.00	2.84	2.55	28.7	0.0
140		1.00	3.16	2.78	31.2	0.0

22. DOSIFICACION EN VOLUMEN POR M3 DE CONCRETO

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (bls)	AGREGADO FINO (m3)	AGREGADO GRUESO (m3)	AGUA de Diseño (lt)	AGUA Efectiva (lt)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	10.7	0.47	0.57	205.0	216.2	0.0
	0.50	9.6	0.49	0.58	205.0	216.2	0.0
280		9.9	0.49	0.58	205.0	216.2	0.0
245		9.1	0.50	0.58	205.0	216.2	0.0
210		8.4	0.52	0.58	205.0	216.2	0.0
175		7.5	0.54	0.58	205.0	216.2	0.0
140		6.9	0.55	0.58	205.0	216.2	0.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			**REGISTRO:**	001
UBICACIÓN:	**DEPARTAMENTO:** Ayacucho	**PROVINCIA:**	Huamanga		
	DISTRITO: AYACUCHO	**LOCALIDAD:**	Ayacucho	**FECHA:**	AGOSTO, 2024
ITEM:	. _ .				

1. MUESTRA

CANTERA: CACHI - LA MODERNA — M-3

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

23. DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.56	1.89	20.2	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.81	2.11	22.4	0.0
280	Resistencia	1.0	1.75	2.06	21.9	0.0
245	Resistencia	1.0	1.95	2.23	23.7	0.0
210	Resistencia	1.0	2.17	2.41	25.6	0.0
175	Resistencia	1.0	2.52	2.71	28.7	0.0
140	Resistencia	1.0	2.81	2.94	31.2	0.0

24. DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE 1 (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.6	1.9	19	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.8	2.1	21	0.0
280	Resistencia	1.0	1.8	2.1	21	0.0
245	Resistencia	1.0	1.9	2.2	22	0.0
210	Resistencia	1.0	2.2	2.4	24	0.0
175	Resistencia	1.0	2.5	2.7	27	0.0
140	Resistencia	1.0	2.8	2.9	30	0.0

25. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266654 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

C.2. Diseños de mezclas concreto cantera “Chillico” (laboratorio)

C.2.1. Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M1)

Tabla 77

Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M1)

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO:	Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
DISTRITO:	AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	NOVIEMBRE, 2024
ITEM:	. .				

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO — M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	CHILLICO	CHILLICO
MATERIAL	:AGREGADO GRUESO PIEDRA CHANCADA	:AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADO MALL
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUSS (kg/m3)	1394.7	1561.6
PUCS (kg/m3)	1485.9	1691.9
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.5	2.5
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.7	2.7
ABSORCION (%)	3.0	3.1
HUMEDAD (%)	1.3	1.4
MODULO DE FINEZA	6.8	3.6
TAMAÑO MAXIMO	3/4	-.-
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2	-.-
PUSH (kg/m3)	1413	1583

4. DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	I
PESO ESPECIFICO	3.15

5. RESISTENCIA PROMEDIO f'cr

RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		280	f'cr =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		245	f'cr =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		210	f'cr =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		175	f'cr =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		140	f'cr =	210 kg/cm2

6. ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"			
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA	3"-4"	MEZCLA PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"			

7. CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2 "		AIRE ATRAPADO	2.5 %

8. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2 "			
6. ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	216	lt/m3

9. ADITIVO

TIPO DE ADITIVO	-.-	MARCA	-.-
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	DOSIS (% del peso de cemento)	0

10. RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f'c (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)	ADITIVO (gr/m3)	ADITIVO (lt/m3)
		0.45	480.0	11.3	0.1524	0.0000	0.0000
		0.50	432.0	10.2	0.1371	0.0000	0.0000
280	364	0.49	441.9	10.4	0.1403	0.0000	0.0000
245	329	0.53	409.3	9.6	0.1299	0.0000	0.0000
210	294	0.57	377.8	8.9	0.1199	0.0000	0.0000
175	245	0.64	336.8	7.9	0.1069	0.0000	0.0000
140	210	0.70	309.9	7.3	0.0984	0.0000	0.0000

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: _.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

11. SELECCION DE LOS AGREGADOS

		METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
w/c o f'c (kg/cm2)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.607	0.281	0.325	0.238	0.369	0.322	0.285
0.50	0.622	0.281	0.325	0.227	0.395	0.330	0.292
280	0.619	0.281	0.325	0.229	0.390	0.328	0.291
245	0.629	0.281	0.325	0.221	0.408	0.333	0.296
210	0.639	0.281	0.325	0.213	0.426	0.339	0.300
175	0.652	0.281	0.325	0.203	0.450	0.346	0.306
140	0.661	0.281	0.325	0.195	0.465	0.350	0.310

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO=	0.468
MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	3.62
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	1/2 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	11.3	4.86	60.8	39.2
w/c=0.50	10.2	4.78	63.6	36.4
280	10.4	4.80	63.0	37.0
245	9.6	4.74	64.8	35.2
210	8.9	4.68	66.6	33.4
175	7.9	4.61	68.9	31.1
140	7.3	4.56	70.5	29.5

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso	53.00	%
% del Agregado fino	47.00	%

12. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	797.5	694.7	216.0	0.0	2188.2
	0.50	432.0	797.5	694.7	216.0	0.0	2140.2
280		441.9	797.5	694.7	216.0	0.0	2150.1
245		409.3	797.5	694.7	216.0	0.0	2117.4
210		377.8	797.5	694.7	216.0	0.0	2086.0
175		336.8	797.5	694.7	216.0	0.0	2045.0
140		309.9	797.5	694.7	216.0	0.0	2018.1

13. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	904.6	586.8	216.0	0.0	2187.3
	0.50	432.0	968.6	559.9	216.0	0.0	2176.5
280		441.9	955.2	565.6	216.0	0.0	2178.7
245		409.3	999.7	546.4	216.0	0.0	2171.3
210		377.8	1043.4	527.0	216.0	0.0	2164.2
175		336.8	1101.7	500.4	216.0	0.0	2154.9
140		309.9	1140.8	482.1	216.0	0.0	2148.8

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

14. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	698.8	794.1	216.0	0.0	2188.9
	0.50	432.0	716.4	814.1	216.0	0.0	2178.4
280		441.9	712.7	810.0	216.0	0.0	2180.6
245		409.3	724.7	823.5	216.0	0.0	2173.5
210		377.8	736.2	836.6	216.0	0.0	2166.6
175		336.8	751.2	853.7	216.0	0.0	2157.6
140		309.9	761.0	864.8	216.0	0.0	2151.7

15. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	808.7	704.0	241.1	0.0	2233.8
	0.50	432.0	808.7	704.0	241.1	0.0	2185.8
280		441.9	808.7	704.0	241.1	0.0	2195.7
245		409.3	808.7	704.0	241.1	0.0	2163.0
210		377.8	808.7	704.0	241.1	0.0	2131.6
175		336.8	808.7	704.0	241.1	0.0	2090.6
140		309.9	808.7	704.0	241.1	0.0	2063.7

16. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	917.3	594.6	241.2	0.0	2233.0
	0.50	432.0	982.2	567.3	241.8	0.0	2223.4
280		441.9	968.7	573.1	241.7	0.0	2225.4
245		409.3	1013.7	553.7	242.1	0.0	2218.8
210		377.8	1058.0	534.0	242.5	0.0	2212.4
175		336.8	1117.2	507.1	243.1	0.0	2204.1
140		309.9	1156.8	488.6	243.4	0.0	2198.7

17. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	708.6	804.7	241.1	0.0	2234.5
	0.50	432.0	726.4	824.9	241.7	0.0	2225.1
280		441.9	722.7	820.8	241.6	0.0	2227.0
245		409.3	734.9	834.5	242.0	0.0	2220.7
210		377.8	746.5	847.8	242.5	0.0	2214.6
175		336.8	761.7	865.0	243.0	0.0	2206.6
140		309.9	771.7	876.4	243.3	0.0	2201.3

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

18. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE 1)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	**801.7**	**690.5**	216.0	0.0	2188.1
	0.50	432.0	**842.5**	**687.0**	216.0	0.0	2177.5
280		441.9	**834.0**	**687.8**	216.0	0.0	2179.7
245		409.3	**862.2**	**685.0**	216.0	0.0	2172.4
210		377.8	**889.8**	**681.8**	216.0	0.0	2165.4
175		336.8	**926.5**	**677.0**	216.0	0.0	2156.3
140		309.9	**950.9**	**673.5**	216.0	0.0	2150.3

19. DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.67	1.44	19.1	0.0
	0.50	1.00	1.95	1.59	21.3	0.0
280		1.00	1.89	1.56	20.8	0.0
245		1.00	2.11	1.67	22.4	0.0
210		1.00	2.35	1.80	24.3	0.0
175		1.00	2.75	2.01	27.3	0.0
140		1.00	3.07	2.17	29.6	0.0

20. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	812.9	699.7	241.1	0.0	2233.8
	0.50	432.0	854.3	696.1	241.8	0.0	2224.2
280		441.9	845.7	697.0	241.6	0.0	2226.2
245		409.3	874.3	694.1	242.1	0.0	2219.7
210		377.8	902.3	690.9	242.5	0.0	2213.5
175		336.8	939.5	686.1	243.0	0.0	2205.3
140		309.9	964.2	682.5	243.4	0.0	2200.0

21. DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.69	1.46	21.4	0.0
	0.50	1.00	1.98	1.61	23.8	0.0
280		1.00	1.91	1.58	23.2	0.0
245		1.00	2.14	1.70	25.1	0.0
210		1.00	2.39	1.83	27.3	0.0
175		1.00	2.79	2.04	30.7	0.0
140		1.00	3.11	2.20	33.4	0.0

22. DOSIFICACION EN VOLUMEN POR M3 DE CONCRETO

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (bls)	AGREGADO FINO (m3)	AGREGADO GRUESO (m3)	AGUA de Diseño (lt)	AGUA Efectiva (lt)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	11.3	0.51	0.50	216.0	241.1	0.0
	0.50	10.2	0.54	0.49	216.0	241.8	0.0
280		10.4	0.53	0.49	216.0	241.6	0.0
245		9.6	0.55	0.49	216.0	242.1	0.0
210		8.9	0.57	0.49	216.0	242.5	0.0
175		7.9	0.59	0.49	216.0	243.0	0.0
140		7.3	0.61	0.48	216.0	243.4	0.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-1

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

23. DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.61	1.55	21.4	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.87	1.71	23.8	0.0
280	Resistencia	1.0	1.81	1.67	23.3	0.0
245	Resistencia	1.0	2.02	1.80	25.2	0.0
210	Resistencia	1.0	2.26	1.94	27.3	0.0
175	Resistencia	1.0	2.64	2.16	30.7	0.0
140	Resistencia	1.0	2.95	2.34	33.4	0.0

24. DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE 1 (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.6	1.5	19	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	1.9	1.7	21	0.0
280	Resistencia	1.0	1.8	1.7	21	0.0
245	Resistencia	1.0	2.0	1.8	22	0.0
210	Resistencia	1.0	2.3	1.9	24	0.0
175	Resistencia	1.0	2.6	2.2	27	0.0
140	Resistencia	1.0	2.9	2.3	30	0.0

25. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 266464 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

C.2.2. Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M2)

Tabla 78

Diseños de mezclas de concreto – Chillico (M2)

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE	RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR			REGISTRO:	001
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO:	Ayacucho	PROVINCIA:	Huamanga		
DISTRITO:	AYACUCHO	LOCALIDAD:	Ayacucho	FECHA:	NOVIEMBRE, 2024
ITEM:	. .				

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

3. DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	CHILLICO	CHILLICO
MATERIAL	:AGREGADO GRUESO PIEDRA CHANCADA	:AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADO MALL
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUSS (kg/m3)	1419.6	1566.8
PUCS (kg/m3)	1495.3	1719.3
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.5	2.5
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.7	2.7
ABSORCION (%)	2.4	2.3
HUMEDAD (%)	1.1	1.5
MODULO DE FINEZA	6.8	3.9
TAMAÑO MAXIMO	3/4	-.-
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2	-.-
PUSH (kg/m3)	1435	1590

4. DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	I
PESO ESPECIFICO	3.15

5. RESISTENCIA PROMEDIO f'cr

RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		280	f'cr =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		245	f'cr =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		210	f'cr =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		175	f'cr =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm2)		140	f'cr =	210 kg/cm2

6. ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"			
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA	3"-4"	MEZCLA PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"			

7. CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2 "	AIRE ATRAPADO	2.5 %

8. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2 "			
6. ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	216	lt/m3

9. ADITIVO

TIPO DE ADITIVO	-.-	MARCA	-.-
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	DOSIS (% del peso de cemento)	0

10. RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f'c (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)	ADITIVO (gr/m3)	ADITIVO (lt/m3)
		0.45	480.0	11.3	0.1524	0.0000	0.0000
		0.50	432.0	10.2	0.1371	0.0000	0.0000
280	364	0.49	441.9	10.4	0.1403	0.0000	0.0000
245	329	0.53	409.3	9.6	0.1299	0.0000	0.0000
210	294	0.57	377.8	8.9	0.1199	0.0000	0.0000
175	245	0.64	336.8	7.9	0.1069	0.0000	0.0000
140	210	0.70	309.9	7.3	0.0984	0.0000	0.0000

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: . _ .

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

11. SELECCION DE LOS AGREGADOS

		METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
w/c o f'c (kg/cm2)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.607	0.263	0.343	0.206	0.400	0.322	0.285
0.50	0.622	0.263	0.343	0.193	0.429	0.330	0.292
280	0.619	0.263	0.343	0.196	0.423	0.328	0.291
245	0.629	0.263	0.343	0.186	0.443	0.333	0.296
210	0.639	0.263	0.343	0.177	0.462	0.339	0.300
175	0.652	0.263	0.343	0.164	0.488	0.346	0.306
140	0.661	0.263	0.343	0.155	0.505	0.350	0.310

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO=	0.442
MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	3.88
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	1/2 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	11.3	4.86	66.0	34.0
w/c=0.50	10.2	4.78	69.0	31.0
280	10.4	4.80	68.4	31.6
245	9.6	4.74	70.4	29.6
210	8.9	4.68	72.3	27.7
175	7.9	4.61	74.8	25.2
140	7.3	4.56	76.5	23.5

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso	53.00	%
% del Agregado fino	47.00	%

12. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	859.8	661.4	216.0	0.0	2217.2
	0.50	432.0	859.8	661.4	216.0	0.0	2169.2
280		441.9	859.8	661.4	216.0	0.0	2179.1
245		409.3	859.8	661.4	216.0	0.0	2146.5
210		377.8	859.8	661.4	216.0	0.0	2115.1
175		336.8	859.8	661.4	216.0	0.0	2074.0
140		309.9	859.8	661.4	216.0	0.0	2047.1

13. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	1003.3	517.6	216.0	0.0	2216.9
	0.50	432.0	1074.5	484.4	216.0	0.0	2207.0
280		441.9	1059.6	491.5	216.0	0.0	2209.0
245		409.3	1109.1	467.9	216.0	0.0	2202.3
210		377.8	1157.6	444.3	216.0	0.0	2195.8
175		336.8	1222.5	412.0	216.0	0.0	2187.3
140		309.9	1266.0	389.9	216.0	0.0	2181.8

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho | PROVINCIA: Huamanga | DISTRITO: AYACUCHO | LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

14. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	714.2	807.3	216.0	0.0	2217.6
	0.50	432.0	732.2	827.6	216.0	0.0	2207.8
280		441.9	728.5	823.4	216.0	0.0	2209.8
245		409.3	740.7	837.2	216.0	0.0	2203.2
210		377.8	752.4	850.5	216.0	0.0	2196.8
175		336.8	767.8	867.9	216.0	0.0	2188.4
140		309.9	777.8	879.2	216.0	0.0	2182.9

15. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	872.5	668.6	232.2	0.0	2253.3
	0.50	432.0	872.5	668.6	232.2	0.0	2205.3
280		441.9	872.5	668.6	232.2	0.0	2215.2
245		409.3	872.5	668.6	232.2	0.0	2182.6
210		377.8	872.5	668.6	232.2	0.0	2151.2
175		336.8	872.5	668.6	232.2	0.0	2110.1
140		309.9	872.5	668.6	232.2	0.0	2083.2

16. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	1018.1	523.2	231.6	0.0	2252.9
	0.50	432.0	1090.4	489.7	231.7	0.0	2243.8
280		441.9	1075.3	496.8	231.7	0.0	2245.7
245		409.3	1125.5	473.0	231.8	0.0	2239.5
210		377.8	1174.7	449.1	231.9	0.0	2233.6
175		336.8	1240.6	416.4	232.0	0.0	2225.9
140		309.9	1284.7	394.1	232.1	0.0	2220.8

17. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	724.8	816.1	232.9	0.0	2253.8
	0.50	432.0	743.0	836.6	233.3	0.0	2244.9
280		441.9	739.2	832.4	233.3	0.0	2246.8
245		409.3	751.6	846.3	233.5	0.0	2240.7
210		377.8	763.5	859.7	233.8	0.0	2234.9
175		336.8	779.1	877.2	234.2	0.0	2227.3
140		309.9	789.3	888.7	234.4	0.0	2222.4

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO: 001

FECHA: NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

18. RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE 1)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	858.8	662.5	216.0	0.0	2217.2
	0.50	432.0	903.4	656.0	216.0	0.0	2207.4
280		441.9	894.1	657.5	216.0	0.0	2209.4
245		409.3	924.9	652.6	216.0	0.0	2202.7
210		377.8	955.0	647.4	216.0	0.0	2196.3
175		336.8	995.2	639.9	216.0	0.0	2187.9
140		309.9	1021.9	634.6	216.0	0.0	2182.3

19. DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.79	1.38	19.1	0.0
	0.50	1.00	2.09	1.52	21.3	0.0
280		1.00	2.02	1.49	20.8	0.0
245		1.00	2.26	1.59	22.4	0.0
210		1.00	2.53	1.71	24.3	0.0
175		1.00	2.95	1.90	27.3	0.0
140		1.00	3.30	2.05	29.6	0.0

20. RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	ADITIVO (gr/m3)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	480.0	871.4	669.6	232.2	0.0	2253.3
	0.50	432.0	916.7	663.1	232.5	0.0	2244.4
280		441.9	907.3	664.6	232.5	0.0	2246.2
245		409.3	938.5	659.7	232.7	0.0	2240.1
210		377.8	969.1	654.4	232.9	0.0	2234.3
175		336.8	1009.9	646.8	233.1	0.0	2226.6
140		309.9	1037.0	641.4	233.3	0.0	2221.6

21. DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	1.00	1.82	1.40	20.6	0.0
	0.50	1.00	2.12	1.54	22.9	0.0
280		1.00	2.05	1.50	22.4	0.0
245		1.00	2.29	1.61	24.2	0.0
210		1.00	2.56	1.73	26.2	0.0
175		1.00	3.00	1.92	29.4	0.0
140		1.00	3.35	2.07	32.0	0.0

22. DOSIFICACION EN VOLUMEN POR M3 DE CONCRETO

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (bls)	AGREGADO FINO (m3)	AGREGADO GRUESO (m3)	AGUA de Diseño (lt)	AGUA Efectiva (lt)	ADITIVO (gr/m3)
	0.45	11.3	0.55	0.47	216.0	232.2	0.0
	0.50	10.2	0.58	0.46	216.0	232.5	0.0
280		10.4	0.57	0.46	216.0	232.5	0.0
245		9.6	0.59	0.46	216.0	232.7	0.0
210		8.9	0.61	0.46	216.0	232.9	0.0
175		7.9	0.64	0.45	216.0	233.1	0.0
140		7.3	0.65	0.45	216.0	233.3	0.0

ENSAYO DE LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (CONSISTENCIA PLASTICA)

PROYECTO:

"APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

SOLICITANTE RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: Ayacucho PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: AYACUCHO LOCALIDAD: Ayacucho

ITEM: ._.

REGISTRO:	001
FECHA:	NOVIEMBRE, 2024

1. MUESTRA

CANTERA: CHILLICO M-2

MATERIAL: AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO

2. PERSONAL

OPERADOR: K.O.C

ASISTENTE: W.A.J

23. DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.71	1.46	20.6	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.00	1.61	22.9	0.0
280	Resistencia	1.0	1.94	1.57	22.4	0.0
245	Resistencia	1.0	2.16	1.69	24.2	0.0
210	Resistencia	1.0	2.42	1.81	26.2	0.0
175	Resistencia	1.0	2.83	2.01	29.4	0.0
140	Resistencia	1.0	3.16	2.16	32.0	0.0

24. DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE 1 (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

fc (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)	ADITIVO (gr/m3)
Durabilidad	0.45	1.0	1.7	1.5	19	0.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.0	1.6	21	0.0
280	Resistencia	1.0	1.9	1.6	21	0.0
245	Resistencia	1.0	2.2	1.7	22	0.0
210	Resistencia	1.0	2.4	1.8	24	0.0
175	Resistencia	1.0	2.8	2.0	27	0.0
140	Resistencia	1.0	3.2	2.2	30	0.0

25. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

LOS AGREGADOS FUERON MUESTREADOS POR LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO.

Elaborado por:	*Revisado por:*	
AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. WELHNER AQUISE JANAMPA INGENIERO CIVIL CIP N° 224674 AREA DE SUELOS Y CONCRETO		

Anexo D

D.1. Diseños de mezclas de concreto – cantera “La Moderna” (investigador)

D.1.1. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM1, cantera La Moderna

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI Lyco

Muestra MM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	140 kg/cm2	Desviación Estándar (S)	
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4 Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	**Peso Específico** 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.560 g/cm3	
Absorción	1.840%	
Contenido de Humedad	2.640%	
Módulo de Finura	3.52	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico	2.490 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1537.20 kg/m3	
Absorción	1.630%	
Contenido de Humedad	0.670%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 210 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia	0.68
a/c Por Durabilidad	...
A/C de diseño es	**0.68**

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

299.708 kg/m^3

7.052 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado	0.55	m^3
Peso Agr. Grueso Seco	842.3856	kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.095	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.338	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.658**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino	0.342	m^3
Peso Agr. Fino Seco	874.36	kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	299.71	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	874.36	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	842.3856	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.640%
Peso Húmedo A.F.	897.44 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.670%
Peso Húmedo A.G.	848.03 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	0.800%
H.S. Agregado Grueso	-0.960%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	6.99	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.09	L/m^3
	-1.09	**L/m^3**

Agua Efectiva	**206.09**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	299.708	kg/m^3	=	300	kg/m^3
Agua Efectiva	206.092	L/m^3	=	206	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	897.444	kg/m^3	=	897	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.030	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.99**
AGREGADO GRUESO	**2.83**
AGUA	**29.22**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.99 : 2.83 : 29.22 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.68	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.69	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	29.22	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	127.08	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	120.28	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	4.77 kg	Adicionamos	5.89 kg
⇒ Agua	3.28 Lt	**23.5%**	4.05 Lt
⇒ Agregado Fino	14.27 kg		17.62 kg
⇒ Agregado Grueso	13.48 kg	de Desperdicios	16.65 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra MM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	175 kg/cm2	Desviación Estándar (S)	
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4 Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO Andino Tipo I — **Peso Específico** 3.15 g/cm3

AGUA Potable

AGREGADO FINO

Peso Específico	2.560 g/cm3
Absorción	1.840%
Contenido de Humedad	2.640%
Módulo de Finura	3.52

AGREGADO GRUESO

Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Específico	2.490 g/cm3
Peso Seco Compactado	1537.20 kg/m3
Absorción	1.630%
Contenido de Humedad	0.670%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 245 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.63

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.63

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

326.433 kg/m^3

7.681 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.55 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 842.3856 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.104	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.338	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.667**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.333 m^3

Peso Agr. Fino Seco 852.64 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	326.43	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	852.64	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	842.3856	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.640%
Peso Húmedo A.F.	875.15 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.670%
Peso Húmedo A.G.	848.03 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	0.800%
H.S. Agregado Grueso	-0.960%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	6.82	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.09	L/m^3
	-1.27	**L/m^3**

Agua Efectiva	**206.27**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	326.433	kg/m^3	=	326	kg/m^3
Agua Efectiva	206.266	L/m^3	=	206	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	875.151	kg/m^3	=	875	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.030	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.68**
AGREGADO GRUESO	**2.6**
AGUA	**26.85**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.68 : 2.6 : 26.85 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.63	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.63	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	26.85	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	113.90	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	110.50	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.19 kg	Adicionamos	6.41 kg
⇒ Agua	3.28 Lt	**23.5%**	4.05 Lt
⇒ Agregado Fino	13.91 kg		17.18 kg
⇒ Agregado Grueso	13.48 kg	de Desperdicios	16.65 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra MM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	210 kg/cm2	Desviación Estándar (S)	
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4 Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO Andino Tipo I — **Peso Específico** 3.15 g/cm3

AGUA Potable

AGREGADO FINO

Peso Específico	2.560 g/cm3
Absorción	1.840%
Contenido de Humedad	2.640%
Módulo de Finura	3.52

AGREGADO GRUESO

Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Específico	2.490 g/cm3
Peso Seco Compactado	1537.20 kg/m3
Absorción	1.630%
Contenido de Humedad	0.670%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 294 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.56

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.56

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

367.120 kg/m^3

8.638 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.55 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 842.3856 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.117	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.338	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.680**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.320 m^3

Peso Agr. Fino Seco 819.57 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	367.12	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	819.57	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	842.3856	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.640%
Peso Húmedo A.F.	841.21 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.670%
Peso Húmedo A.G.	848.03 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	0.800%
H.S. Agregado Grueso	-0.960%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	6.56	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.09	L/m^3
	-1.53	**L/m^3**

Agua Efectiva	**206.53**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	367.120	kg/m^3	=	367	kg/m^3
Agua Efectiva	206.530	L/m^3	=	207	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	841.212	kg/m^3	=	841	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.030	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.29**
AGREGADO GRUESO	**2.31**
AGUA	**23.91**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.29 : 2.31 : 23.91 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.56	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.56	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	23.91	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	97.33	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	98.18	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.84 kg	Adicionamos	7.21 kg
⇒ Agua	3.28 Lt	**23.5%**	4.06 Lt
⇒ Agregado Fino	13.38 kg		16.52 kg
⇒ Agregado Grueso	13.48 kg	de Desperdicios	16.65 kg

D.1.2. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM2, cantera La Moderna

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	140 kg/cm2	Desviación Estándar (S)	
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4 Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable

Muestra MM2

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	Peso Específico 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.550 g/cm3	
Absorción	2.090%	
Contenido de Humedad	3.560%	
Módulo de Finura	3.16	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico	2.550 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1497.70 kg/m3	
Absorción	1.800%	
Contenido de Humedad	0.680%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 210 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.68

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.68

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

299.708 kg/m^3

7.052 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado	0.58	m^3
Peso Agr. Grueso Seco	874.6568	kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.095	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.343	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.663**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino	0.337	m^3
Peso Agr. Fino Seco	858.97	kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	299.71	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	858.97	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	874.6568	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	3.560%
Peso Húmedo A.F.	889.55 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.680%
Peso Húmedo A.G.	880.60 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	1.470%
H.S. Agregado Grueso	-1.120%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	12.63	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-9.80	L/m^3
	2.83	**L/m^3**

Agua Efectiva	**202.17**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	299.71	kg/m^3	=	300	kg/m^3
Agua Efectiva	202.17	L/m^3	=	202	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	889.55	kg/m^3	=	890	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	880.60	kg/m^3	=	881	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.97**
AGREGADO GRUESO	**2.94**
AGUA	**28.67**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.97 : 2.94 : 28.67 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.68	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.67	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	28.67	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	126.23	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	124.95	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	4.77 kg	Adicionamos		5.89 kg
⇒ Agua	3.21 Lt	**23.5%**		3.97 Lt
⇒ Agregado Fino	14.14 kg			17.47 kg
⇒ Agregado Grueso	14.00 kg	de Desperdicios		17.29 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	175 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

Muestra MM2

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	Peso Específico 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.550 g/cm3	
Absorción	2.090%	
Contenido de Humedad	3.560%	
Módulo de Finura	3.16	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico	2.550 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1497.70 kg/m3	
Absorción	1.800%	
Contenido de Humedad	0.680%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 245 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.63

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.63

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

326.433 kg/m^3

7.681 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.58 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 874.6568 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.104	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.343	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.672**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.328 m^3

Peso Agr. Fino Seco 837.34 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	326.43	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	837.34	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	874.6568	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	3.560%
Peso Húmedo A.F.	867.15 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.680%
Peso Húmedo A.G.	880.60 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	1.470%
H.S. Agregado Grueso	-1.120%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	12.31	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-9.80	L/m^3
	2.51	**L/m^3**
Agua Efectiva	**202.49**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	326.43	kg/m^3	=	326	kg/m^3
Agua Efectiva	202.49	L/m^3	=	202	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	867.15	kg/m^3	=	867	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	880.60	kg/m^3	=	881	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.66**
AGREGADO GRUESO	**2.7**
AGUA	**26.36**

DOSIFICACIÓN	1 : 2.66 : 2.7 : 26.36 Litros/Bolsa

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.63	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.62	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	26.36	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	113.05	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	114.75	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.19 kg	Adicionamos	6.41 kg
⇒ Agua	3.22 Lt	**23.5%**	3.98 Lt
⇒ Agregado Fino	13.79 kg		17.03 kg
⇒ Agregado Grueso	14.00 kg	de Desperdicios	17.29 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	210 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

Muestra MM2

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — Andino Tipo I — Peso Específico 3.15 g/cm3
- **AGUA** — Potable
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.550 g/cm3
Absorción	2.090%
Contenido de Humedad	3.560%
Módulo de Finura	3.16

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Específico	2.550 g/cm3
Peso Seco Compactado	1497.70 kg/m3
Absorción	1.800%
Contenido de Humedad	0.680%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 294 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.56

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.56

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

367.120 kg/m^3

8.638 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.58 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 874.6568 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.117	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.343	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.685**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.315 m^3

Peso Agr. Fino Seco 804.40 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	367.12	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	804.40	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	874.6568	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	3.560%
Peso Húmedo A.F.	833.04 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.680%
Peso Húmedo A.G.	880.60 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	1.470%
H.S. Agregado Grueso	-1.120%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	11.82	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-9.80	L/m^3
	2.03	**L/m^3**

Agua Efectiva	**202.97**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGAD

Cemento	367.12	kg/m^3	=	367	kg/m^3
Agua Efectiva	202.97	L/m^3	=	203	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	833.04	kg/m^3	=	833	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	880.60	kg/m^3	=	881	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.27**
AGREGADO GRUESO	**2.4**
AGUA	**23.5**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.27 : 2.4 : 23.5 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.56	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.55	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	23.5	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	96.48	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	102.00	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.84 kg	Adicionamos	7.21 kg
⇒ Agua	3.23 Lt	**23.5%**	3.99 Lt
⇒ Agregado Fino	13.25 kg		16.36 kg
⇒ Agregado Grueso	14.00 kg	de Desperdicios	17.29 kg

D.1.3. Diseño de mezclas de concreto – muestra MM3, cantera La Moderna.

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra MM3

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	140 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	**Peso Específico** 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.530 g/cm3	
Absorción	2.140%	
Contenido de Humedad	2.130%	
Módulo de Finura	3.39	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico	2.520 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1506.10 kg/m3	
Absorción	1.770%	
Contenido de Humedad	0.400%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 210 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.68

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.68

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

299.708 kg/m^3

7.052 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.56 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 844.9221 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.095	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.335	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.655**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.345 m^3

Peso Agr. Fino Seco 871.76 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	299.71	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	871.76	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	844.9221	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.130%
Peso Húmedo A.F.	890.33 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.400%
Peso Húmedo A.G.	848.30 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.010%
H.S. Agregado Grueso	-1.370%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-0.09	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.58	L/m^3
	-11.66	**L/m^3**

Agua Efectiva	**216.66**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	299.71	kg/m^3	=	300	kg/m^3
Agua Efectiva	216.66	L/m^3	=	217	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	890.33	kg/m^3	=	890	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.30	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.97**
AGREGADO GRUESO	**2.83**
AGUA	**30.72**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.97 : 2.83 : 30.72 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.68	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.72	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	30.72	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	126.23	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	120.28	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	4.77 kg	Adicionamos	5.89 kg
⇒ Agua	3.44 Lt	**23.5%**	4.25 Lt
⇒ Agregado Fino	14.16 kg		17.48 kg
⇒ Agregado Grueso	13.49 kg	de Desperdicios	16.66 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra MM3

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	175 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	**Peso Específico** 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	

AGREGADO FINO

Peso Específico	2.530 g/cm3
Absorción	2.140%
Contenido de Humedad	2.130%
Módulo de Finura	3.39

AGREGADO GRUESO

Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Específico	2.520 g/cm3
Peso Seco Compactado	1506.10 kg/m3
Absorción	1.770%
Contenido de Humedad	0.400%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 245 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.63

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.63

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

326.433 kg/m^3

7.681 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.56 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 844.9221 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.104	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.335	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.664**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.336 m^3

Peso Agr. Fino Seco 850.29 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	326.43	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	850.29	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	844.9221	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.130%
Peso Húmedo A.F.	868.40 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.400%
Peso Húmedo A.G.	848.30 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.010%
H.S. Agregado Grueso	-1.370%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-0.09	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.58	L/m^3
	-11.66	**L/m^3**

Agua Efectiva	**216.66**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	326.43	kg/m^3	=	326	kg/m^3
Agua Efectiva	216.66	L/m^3	=	217	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	868.40	kg/m^3	=	868	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.30	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.66**
AGREGADO GRUESO	**2.6**
AGUA	**28.21**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.66 : 2.6 : 28.21 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.63	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.67	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	28.21	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	113.05	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	110.50	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.19 kg	Adicionamos	6.41 kg
⇒ Agua	3.44 Lt	**23.5%**	4.25 Lt
⇒ Agregado Fino	13.81 kg		17.05 kg
⇒ Agregado Grueso	13.49 kg	de Desperdicios	16.66 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra MM3

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	210 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

CEMENTO	Andino Tipo I	**Peso Específico** 3.15 g/cm3
AGUA	Potable	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.530 g/cm3	
Absorción	2.140%	
Contenido de Humedad	2.130%	
Módulo de Finura	3.39	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico	2.520 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1506.10 kg/m3	
Absorción	1.770%	
Contenido de Humedad	0.400%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 294 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

205 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.56

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.56

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

367.120 kg/m^3

8.638 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.56 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 844.9221 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.117	m3
Agua	=	0.205	m3
Aire	=	0.020	m3
Agr. Grueso	=	0.335	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.677**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.323 m^3

Peso Agr. Fino Seco 817.61 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	367.12	kg/m^3
Agua de Diseño	205	L/m^3
Agregado Fino Seco	817.61	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	844.9221	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	2.130%
Peso Húmedo A.F.	835.03 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	0.400%
Peso Húmedo A.G.	848.30 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.010%
H.S. Agregado Grueso	-1.370%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-0.08	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.58	L/m^3
	-11.66	**L/m^3**

Agua Efectiva	**216.66**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	367.12	kg/m^3	=	367	kg/m^3
Agua Efectiva	216.66	L/m^3	=	217	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	835.03	kg/m^3	=	835	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	848.30	kg/m^3	=	848	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.27**
AGREGADO GRUESO	**2.31**
AGUA	**25.08**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.27 : 2.31 : 25.08 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.56	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.59	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	25.08	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	96.48	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	98.18	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.84 kg	Adicionamos	7.21 kg
⇒ Agua	3.44 Lt	**23.5%**	4.25 Lt
⇒ Agregado Fino	13.28 kg		16.40 kg
⇒ Agregado Grueso	13.49 kg	de Desperdicios	16.66 kg

D.2. Diseños de mezclas de concreto – cantera “Chillico” (investigador)

D.2.1. Diseño de mezclas de concreto – muestra CM1, cantera Chillico

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	140 kg/cm2	**Desviación Estándar (S)**	
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	**Asentamiento (Uso)**	3 a 4 Pulgadas
Consistencia	Plástica	**Asentamiento (Consistencia)**	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — **Andino Tipo I** — **Peso Específico** 3.15 g/cm3
- **AGUA** — **Potable**
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.450 g/cm3
Absorción	3.110%
Contenido de Humedad	1.400%
Módulo de Finura	3.62

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Peso Específico	2.470 g/cm3
Peso Seco Compactado	1485.90 kg/m3
Absorción	3.000%
Contenido de Humedad	1.330%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 210 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.68

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.68

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

315.789 kg/m^3

7.430 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado	0.47	m^3
Peso Agr. Grueso Seco	695.4012	kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.100	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.282	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.623**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino	0.377	m^3
Peso Agr. Fino Seco	924.17	kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	315.79	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	924.17	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	695.4012	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.400%
Peso Húmedo A.F.	937.10 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.330%
Peso Húmedo A.G.	704.65 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-1.710%
H.S. Agregado Grueso	-1.670%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-15.80	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.61	L/m^3
	-27.42	**L/m^3**

Agua Efectiva	**243.42**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	315.789	kg/m^3	=	316	kg/m^3
Agua Efectiva	243.416	L/m^3	=	243	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	937.104	kg/m^3	=	937	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	704.650	kg/m^3	=	705	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.97**
AGREGADO GRUESO	**2.23**
AGUA	**32.76**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.97 : 2.23 : 32.76 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.68	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.77	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	32.76	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	126.23	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	94.78	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.02 kg	Adicionamos		6.20 kg
⇒ Agua	3.87 Lt	**23.5%**		4.78 Lt
⇒ Agregado Fino	14.90 kg			18.40 kg
⇒ Agregado Grueso	11.20 kg	de Desperdicios		13.84 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	175 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — Andino Tipo I — **Peso Específico** 3.15 g/cm3
- **AGUA** — Potable
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.450 g/cm3
Absorción	3.110%
Contenido de Humedad	1.400%
Módulo de Finura	3.62

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Peso Específico	2.470 g/cm3
Peso Seco Compactado	1485.90 kg/m3
Absorción	3.000%
Contenido de Humedad	1.330%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 245 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia	0.63
a/c Por Durabilidad	...
A/C de diseño es	**0.63**

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

343.949 kg/m^3

8.093 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado	0.47	m^3
Peso Agr. Grueso Seco	695.4012	kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.109	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.282	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.632**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino	0.368	m^3
Peso Agr. Fino Seco	902.26	kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	343.95	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	902.26	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	695.4012	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.400%
Peso Húmedo A.F.	914.90 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.330%
Peso Húmedo A.G.	704.65 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-1.710%
H.S. Agregado Grueso	-1.670%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-15.43	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.61	L/m^3
	-27.04	**L/m^3**

Agua Efectiva	**243.04**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	343.949	kg/m^3	=	344	kg/m^3
Agua Efectiva	243.042	L/m^3	=	243	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	914.895	kg/m^3	=	915	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	704.650	kg/m^3	=	705	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.66**
AGREGADO GRUESO	**2.05**
AGUA	**30.03**

DOSIFICACIÓN	1 : 2.66 : 2.05 : 30.03 Litros/Bolsa

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.63	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.71	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	30.03	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	113.05	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	87.13	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.47 kg	Adicionamos		6.75 kg
⇒ Agua	3.86 Lt	**23.5%**		4.77 Lt
⇒ Agregado Fino	14.55 kg			17.97 kg
⇒ Agregado Grueso	11.20 kg	de Desperdicios		13.84 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM1

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	210 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — Andino Tipo I — **Peso Específico** 3.15 g/cm3
- **AGUA** — Potable
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.450 g/cm3
Absorción	3.110%
Contenido de Humedad	1.400%
Módulo de Finura	3.62

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Peso Específico	2.470 g/cm3
Peso Seco Compactado	1485.90 kg/m3
Absorción	3.000%
Contenido de Humedad	1.330%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 294 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.56

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.56

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

386.819 kg/m^3

9.102 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.47 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 695.4012 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.123	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.282	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.645**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.355 m^3

Peso Agr. Fino Seco 868.92 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	386.82	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	868.92	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	695.4012	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.400%
Peso Húmedo A.F.	881.08 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.330%
Peso Húmedo A.G.	704.65 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-1.710%
H.S. Agregado Grueso	-1.670%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-14.86	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-11.61	L/m^3
	-26.47	**L/m^3**

Agua Efectiva	**242.47**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	386.819	kg/m^3	=	387	kg/m^3
Agua Efectiva	242.472	L/m^3	=	242	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	881.085	kg/m^3	=	881	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	704.650	kg/m^3	=	705	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.28**
AGREGADO GRUESO	**1.82**
AGUA	**26.64**

DOSIFICACIÓN	**1 : 2.28 : 1.82 : 26.64 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.56	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.63	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	26.64	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	96.90	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	77.35	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	6.15 kg	Adicionamos		7.60 kg
⇒ Agua	3.86 Lt	**23.5%**		4.76 Lt
⇒ Agregado Fino	14.01 kg			17.30 kg
⇒ Agregado Grueso	11.20 kg	de Desperdicios		13.84 kg

D.2.2. Diseño de mezclas de concreto – muestra CM2, cantera Chillico

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM2

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	140 kg/cm2	**Desviación Estándar (S)**		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	**Asentamiento (Uso)**	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	**Asentamiento (Consistencia)**	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable	

II) MATERIALES

CEMENTO	**Andino Tipo I**	**Peso Específico** 3.15 g/cm3
AGUA	**Potable**	
AGREGADO FINO		
Peso Específico	2.510 g/cm3	
Absorción	2.340%	
Contenido de Humedad	1.480%	
Módulo de Finura	3.88	
AGREGADO GRUESO		
Tamaño Máximo Nominal	1/2"	
Peso Específico	2.510 g/cm3	
Peso Seco Compactado	1495.30 kg/m3	
Absorción	2.420%	
Contenido de Humedad	1.080%	

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 210 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.68

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.68

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

315.789 kg/m^3

7.430 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.44 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 660.9226 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.100	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.263	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.605**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.395 m^3

Peso Agr. Fino Seco 992.54 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	315.79	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	992.54	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	660.9226	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.480%
Peso Húmedo A.F.	1,007.23 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.080%
Peso Húmedo A.G.	668.06 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.860%
H.S. Agregado Grueso	-1.340%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-8.54	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.86	L/m^3
	-17.39	**L/m^3**

Agua Efectiva	**233.39**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	315.789	kg/m^3	=	316	kg/m^3
Agua Efectiva	233.392	L/m^3	=	233	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	1007.228	kg/m^3	=	1007	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	668.061	kg/m^3	=	668	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**3.19**
AGREGADO GRUESO	**2.12**
AGUA	**31.41**

DOSIFICACIÓN	**1 : 3.19 : 2.12 : 31.41 Litros/Bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.68	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.74	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	31.41	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	135.58	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	90.10	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.02 kg	Adicionamos		6.20 kg
⇒ Agua	3.71 Lt	**23.5%**		4.58 Lt
⇒ Agregado Fino	16.01 kg			19.78 kg
⇒ Agregado Grueso	10.62 kg	de Desperdicios		13.12 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM2

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	175 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	Asentamiento (Uso)	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			Despreciable

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — Andino Tipo I — **Peso Específico** 3.15 g/cm3
- **AGUA** — Potable
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.510 g/cm3
Absorción	2.340%
Contenido de Humedad	1.480%
Módulo de Finura	3.88

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Peso Específico	2.510 g/cm3
Peso Seco Compactado	1495.30 kg/m3
Absorción	2.420%
Contenido de Humedad	1.080%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 245 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.63

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.63

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

343.949 kg/m^3

8.093 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.44 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 660.9226 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.109	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.263	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.614**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.386 m^3

Peso Agr. Fino Seco 970.10 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	343.95	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	970.10	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	660.9226	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.480%
Peso Húmedo A.F.	984.46 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.080%
Peso Húmedo A.G.	668.06 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.860%
H.S. Agregado Grueso	-1.340%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-8.34	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.86	L/m^3
	-17.20	**L/m^3**

Agua Efectiva	**233.20**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	343.949	kg/m^3	=	344	kg/m^3
Agua Efectiva	233.199	L/m^3	=	233	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	984.458	kg/m^3	=	984	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	668.061	kg/m^3	=	668	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.86**
AGREGADO GRUESO	**1.94**
AGUA	**28.82**

DOSIFICACIÓN	1 : 2.86 : 1.94 : 28.82 Litros/Bolsa

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.63	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.68	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	28.82	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	121.55	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	82.45	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	5.47 kg	Adicionamos		6.75 kg
⇒ Agua	3.71 Lt	**23.5%**		4.58 Lt
⇒ Agregado Fino	15.65 kg			19.33 kg
⇒ Agregado Grueso	10.62 kg	de Desperdicios		13.12 kg

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

Lyco

Muestra CM2

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada ($f'c_{28}$)	210 kg/cm2	**Desviación Estándar (S)**		
Uso (Tipo de Estructura)	Columnas	**Asentamiento (Uso)**	3 a 4	Pulgadas
Consistencia	Plástica	**Asentamiento (Consistencia)**	3 a 4	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		Despreciable	

II) MATERIALES

- **CEMENTO** — **Andino Tipo I** — **Peso Específico** 3.15 g/cm3
- **AGUA** — **Potable**
- **AGREGADO FINO**

Peso Específico	2.510 g/cm3
Absorción	2.340%
Contenido de Humedad	1.480%
Módulo de Finura	3.88

- **AGREGADO GRUESO**

Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Peso Específico	2.510 g/cm3
Peso Seco Compactado	1495.30 kg/m3
Absorción	2.420%
Contenido de Humedad	1.080%

III) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO — TABLA N° 1 — FÓRMULA N° 1

f'cr = 294 kg/cm2

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 1/2"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO — TABLA N° 2

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA — TABLA N° 3

216 L/m^3

5 CONTENIDO DE AIRE — TABLA N° 4

2.5 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO — TABLA N° 5

a/c Por Resistencia 0.56

a/c Por Durabilidad ...

A/C de diseño es 0.56

7 FACTOR CEMENTO — FÓRMULA N° 2

386.819 kg/m^3

9.102 bls/m^3

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO — TABLA N° 6

Vol. A.G. Seco Compactado 0.44 m^3

Peso Agr. Grueso Seco 660.9226 kg/m^3

9 CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS — FÓRMULA N° 3

Cemento	=	0.123	m3
Agua	=	0.216	m3
Aire	=	0.025	m3
Agr. Grueso	=	0.263	m3
∑ Volúmenes Absolutos		**0.627**	**m3**

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.373 m^3

Peso Agr. Fino Seco 935.94 kg/m^3

⓫ VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	386.82	kg/m^3
Agua de Diseño	216	L/m^3
Agregado Fino Seco	935.94	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	660.9226	kg/m^3

⓬ CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	1.480%
Peso Húmedo A.F.	949.79 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	1.080%
Peso Húmedo A.G.	668.06 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-0.860%
H.S. Agregado Grueso	-1.340%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-8.05	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	-8.86	L/m^3
	-16.91	**L/m^3**

Agua Efectiva	**232.91**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cemento	386.819	kg/m^3	=	387	kg/m^3
Agua Efectiva	232.905	L/m^3	=	233	L/m^3
Agregado Fino Húmedo	949.792	kg/m^3	=	950	kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo	668.061	kg/m^3	=	668	kg/m^3

⓭ PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	**1**
AGREGADO FINO	**2.46**
AGREGADO GRUESO	**1.73**
AGUA	**25.59**

DOSIFICACIÓN	1 : 2.46 : 1.73 : 25.59 Litros/Bolsa

Relación Agua/Cemento de Diseño	0.56	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0.60	Corregida

⓮ PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento **42.50 kg**

Cemento	42.50	kg/bolsa
Agua Efectiva	25.59	L/bolsa
Agregado Fino Húmedo	104.55	kg/bolsa
Agregado Grueso Húmedo	73.53	kg/bolsa

IV) APLICACIÓN

① CANTIDAD DE MATERIAL PARA UN DETERMINADO VOLUMEN

VOLUMEN	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CÚBICO	0.00				0.0000
					0.0000
	DIÁMETRO		ALTURA	N° VECES	VOLUMEN (m^3)
CILÍNDRICO	0.15		0.30	3	0.0159
					0.0000
VOLUMEN TOTAL (m^3)					0.02 m3



⇒ Cemento	6.15 kg	Adicionamos		7.60 kg
⇒ Agua	3.70 Lt	**23.5%**		4.57 Lt
⇒ Agregado Fino	15.10 kg			18.65 kg
⇒ Agregado Grueso	10.62 kg	de Desperdicios		13.12 kg

Anexo E

E.1. Ensayos a la resistencia a la compresión cantera “La Moderna”

E.1.1. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm²

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO
MTC E 704 : NTP 339.034

Versión del documento: 01

Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

REGISTRO: 1

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

FECHA: SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

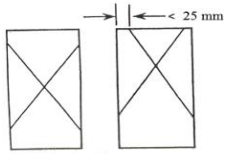
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	1	06-09-24	MM1 - 140 - 1	**140**	12.549	149.92	304.05	**176.52**	**0.00537**	**2.338**	13-09-24	**7**	**203.6**	20,761 Kg	**117.6**			**3**	CONFORME
	2	06-09-24	MM1 - 140 - 2	**140**	13.218	152.48	306.02	**182.61**	**0.00559**	**2.365**	13-09-24	**7**	**190.9**	19,466 Kg	**106.6**	**114.5**	**81.79**	**3**	CONFORME
	3	06-09-24	MM1 - 140 - 3	**140**	12.495	149.50	303.80	**175.54**	**0.00533**	**2.343**	13-09-24	**7**	**205.4**	20,945 Kg	**119.3**			**2**	CONFORME
	4	06-09-24	MM1 - 140 - 1	**140**	12.360	147.80	301.30	**171.57**	**0.00517**	**2.391**	20-09-24	**14**	**220.3**	22,464 Kg	**130.9**			**3**	CONFORME
	5	06-09-24	MM1 - 140 - 2	**140**	12.640	148.10	301.50	**172.27**	**0.00519**	**2.434**	20-09-24	**14**	**211.3**	21,546 Kg	**125.1**	**127.8**	**91.27**	**2**	CONFORME
	6	06-09-24	MM1 - 140 - 3	**140**	12.300	146.90	299.10	**169.49**	**0.00507**	**2.426**	20-09-24	**14**	**211.6**	21,577 Kg	**127.3**			**3**	CONFORME
	7	06-09-24	MM1 - 140 - 1	**140**	12.302	148.75	301.50	**173.78**	**0.00524**	**2.348**	04-10-24	**28**	**316.9**	32,314 Kg	**185.9**			**1**	CONFORME
	8	06-09-24	MM1 - 140 - 2	**140**	13.017	152.20	304.70	**181.94**	**0.00554**	**2.348**	04-10-24	**28**	**303.8**	30,978 Kg	**170.3**	**175.2**	**125.13**	**3**	CONFORME
	9	06-09-24	MM1 - 140 - 3	**140**	12.936	151.85	303.10	**181.10**	**0.00549**	**2.357**	04-10-24	**28**	**300.7**	30,662 Kg	**169.3**			**3**	CONFORME

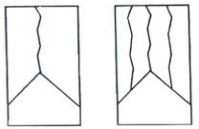
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



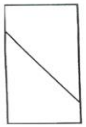
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



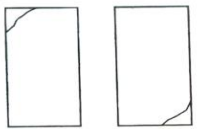
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



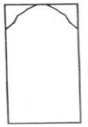
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



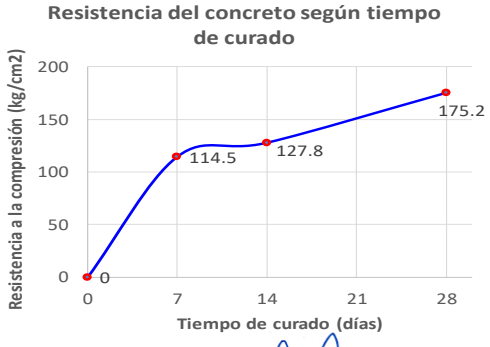
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

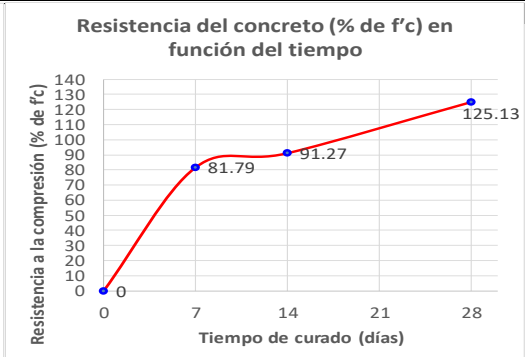


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 260644
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.2. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=175 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA - CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 2

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

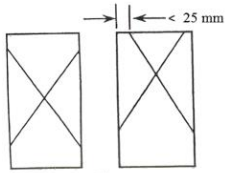
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	10	12-09-24	MM1 - 175 - 1	**175**	11.852	148.60	304.10	**173.43**	**0.00527**	**2.247**	19-09-24	**7**	**247.0**	25,187 Kg	**145.2**			**1**	CONFORME
	11	12-09-24	MM1 - 175 - 2	**175**	12.760	149.40	301.80	**175.30**	**0.00529**	**2.412**	19-09-24	**7**	**269.6**	27,491 Kg	**156.8**	**153.8**	**87.90**	**2**	CONFORME
	12	12-09-24	MM1 - 175 - 3	**175**	12.826	152.20	300.60	**181.94**	**0.00547**	**2.345**	19-09-24	**7**	**284.5**	29,010 Kg	**159.5**			**2**	CONFORME
	13	12-09-24	MM1 - 175 - 1	**175**	12.763	149.30	302.90	**175.07**	**0.00530**	**2.407**	26-09-24	**14**	**307.6**	31,366 Kg	**179.2**			**3**	CONFORME
	14	12-09-24	MM1 - 175 - 2	**175**	12.815	149.20	300.50	**174.83**	**0.00525**	**2.439**	26-09-24	**14**	**307.0**	31,305 Kg	**179.1**	**178.2**	**101.83**	**3**	CONFORME
	15	12-09-24	MM1 - 175 - 3	**175**	12.994	151.80	304.10	**180.98**	**0.00550**	**2.361**	26-09-24	**14**	**313.1**	31,927 Kg	**176.4**			**3**	CONFORME
	16	12-09-24	MM1 - 175 - 1	**175**	12.302	148.75	301.50	**173.78**	**0.00524**	**2.348**	10-10-24	**28**	**314.8**	32,100 Kg	**184.7**			**3**	CONFORME
	17	12-09-24	MM1 - 175 - 2	**175**	13.017	152.20	304.70	**181.94**	**0.00554**	**2.348**	10-10-24	**28**	**355.9**	36,291 Kg	**199.5**	**190.0**	**108.57**	**4**	CONFORME
	18	12-09-24	MM1 - 175 - 3	**175**	12.936	151.85	303.10	**181.10**	**0.00549**	**2.357**	10-10-24	**28**	**330.0**	33,650 Kg	**185.8**			**3**	CONFORME

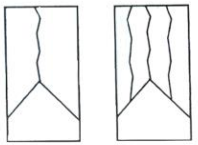
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



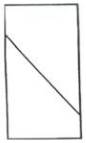
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



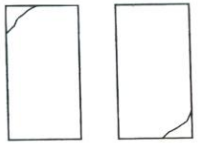
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



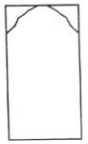
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



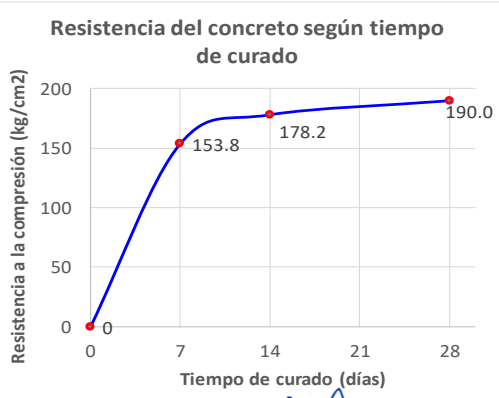
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

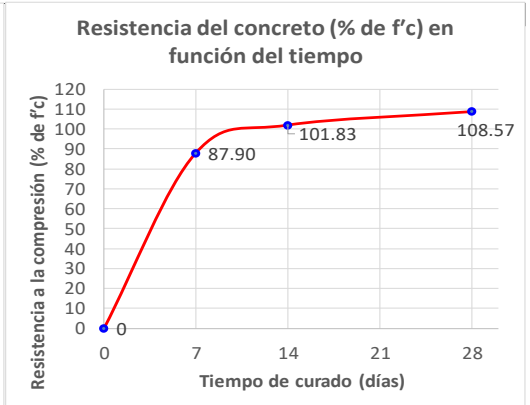


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 268644
ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.3. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=210 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 6

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

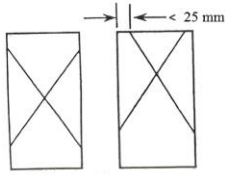
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	46	13-09-24	MM1 - 210 - 1	**210**	12.755	149.80	300.60	**176.24**	**0.00530**	**2.408**	20-09-24	**7**	**305.6**	31,162 Kg	**176.8**	**176.7**	**84.13**	**3**	CONFORME
	47	13-09-24	MM1 - 210 - 2	**210**	12.373	148.90	300.00	**174.13**	**0.00522**	**2.369**	20-09-24	**7**	**312.1**	31,825 Kg	**182.8**			**2**	CONFORME
	48	13-09-24	MM1 - 210 - 3	**210**	12.425	149.10	302.10	**174.60**	**0.00527**	**2.356**	20-09-24	**7**	**291.8**	29,755 Kg	**170.4**			**3**	CONFORME
	49	13-09-24	MM1 - 210 - 1	**210**	12.419	150.90	303.90	**178.84**	**0.00543**	**2.285**	27-09-24	**14**	**330.6**	33,711 Kg	**188.5**	**188.2**	**89.60**	**3**	CONFORME
	50	13-09-24	MM1 - 210 - 2	**210**	12.647	150.70	303.10	**178.37**	**0.00541**	**2.339**	27-09-24	**14**	**326.5**	33,293 Kg	**186.7**			**1**	CONFORME
	51	13-09-24	MM1 - 210 - 3	**210**	12.513	151.00	302.90	**179.08**	**0.00542**	**2.307**	27-09-24	**14**	**332.5**	33,905 Kg	**189.3**			**3**	CONFORME
	52	13-09-24	MM1 - 210 - 1	**210**	12.937	150.30	301.70	**177.42**	**0.00535**	**2.417**	11-10-24	**28**	**459.7**	46,876 Kg	**264.2**	**265.8**	**126.59**	**3**	CONFORME
	53	13-09-24	MM1 - 210 - 2	**210**	12.579	150.40	302.30	**177.66**	**0.00537**	**2.342**	11-10-24	**28**	**458.1**	46,712 Kg	**262.9**			**2**	CONFORME
	54	13-09-24	MM1 - 210 - 3	**210**	13.041	151.10	303.60	**179.32**	**0.00544**	**2.395**	11-10-24	**28**	**475.5**	48,487 Kg	**270.4**			**3**	CONFORME

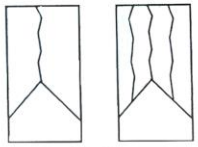
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



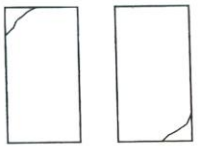
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



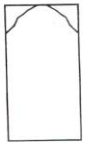
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



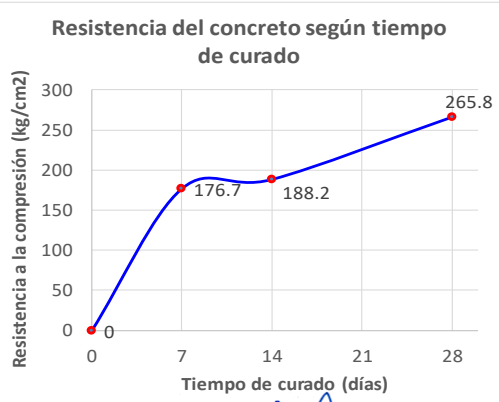
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

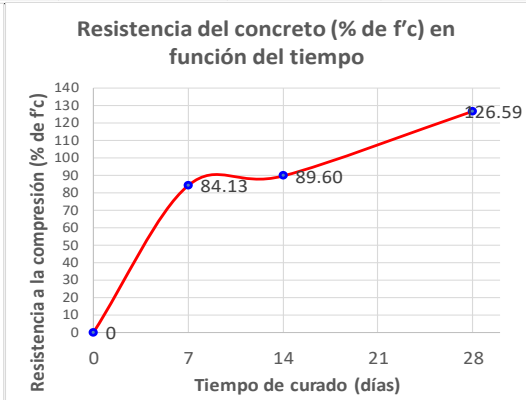


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 256614
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.4. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=140 Kg/cm²

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 7

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

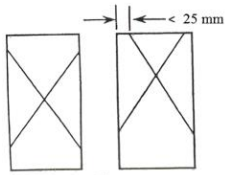
1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA / 2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	55	08-09-24	MM2 - 140 - 1	**140**	12.499	151.10	298.95	**179.32**	**0.00536**	**2.332**	15-09-24	**7**	**200.7**	20,465 Kg	**114.1**			**3**	CONFORME
	56	08-09-24	MM2 - 140 - 2	**140**	12.758	150.45	300.58	**177.78**	**0.00534**	**2.388**	15-09-24	**7**	**209.8**	21,393 Kg	**120.3**	**115.1**	**82.25**	**3**	CONFORME
	57	08-09-24	MM2 - 140 - 3	**140**	12.669	151.90	299.40	**181.22**	**0.00543**	**2.335**	15-09-24	**7**	**197.2**	20,108 Kg	**111.0**			**3**	CONFORME
	58	08-09-24	MM2 - 140 - 1	**140**	12.524	153.10	299.42	**184.09**	**0.00551**	**2.272**	22-09-24	**14**	**229.8**	23,433 Kg	**127.3**			**2**	CONFORME
	59	08-09-24	MM2 - 140 - 2	**140**	12.854	151.48	302.54	**180.22**	**0.00545**	**2.358**	22-09-24	**14**	**233.9**	23,851 Kg	**132.3**	**128.6**	**91.84**	**3**	CONFORME
	60	08-09-24	MM2 - 140 - 3	**140**	12.245	150.24	303.45	**177.28**	**0.00538**	**2.276**	22-09-24	**14**	**219.2**	22,352 Kg	**126.1**			**2**	CONFORME
	61	08-09-24	MM2 - 140 - 1	**140**	12.680	153.80	305.80	**185.78**	**0.00568**	**2.232**	06-10-24	**28**	**358.3**	36,536 Kg	**196.7**			**3**	CONFORME
	62	08-09-24	MM2 - 140 - 2	**140**	12.896	153.40	301.25	**184.82**	**0.00557**	**2.316**	06-10-24	**28**	**336.3**	34,293 Kg	**185.5**	**194.9**	**139.20**	**3**	CONFORME
	63	08-09-24	MM2 - 140 - 3	**140**	12.154	150.45	300.15	**177.78**	**0.00534**	**2.278**	06-10-24	**28**	**352.9**	35,985 Kg	**202.4**			**2**	CONFORME

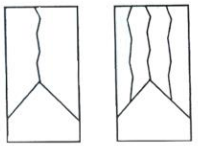
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
EQ	PC - 180									
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



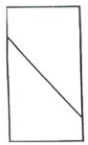
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



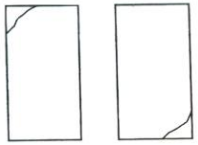
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



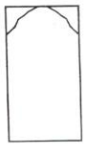
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



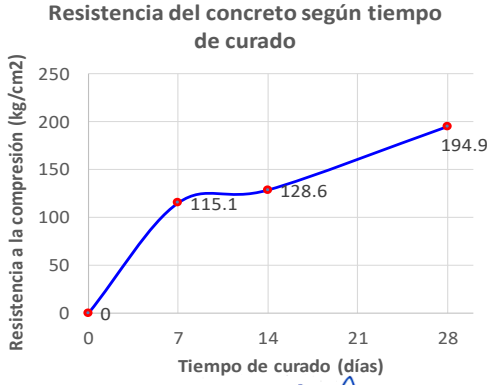
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

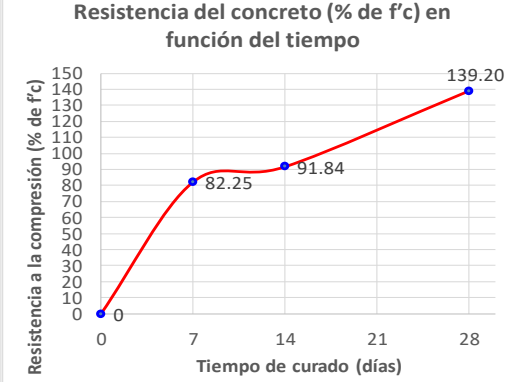


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 260014
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.5. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=175 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA - CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 3

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

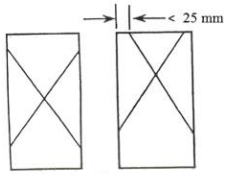
1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA / 2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	19	09-09-24	MM2 - 175 - 1	**175**	12.670	149.04	315.48	**174.46**	**0.00550**	**2.302**	16-09-24	**7**	**251.6**	25,656 Kg	**147.1**			**4**	CONFORME
	20	09-09-24	MM2 - 175 - 2	**175**	12.550	150.19	301.50	**177.16**	**0.00534**	**2.350**	16-09-24	**7**	**235.4**	24,004 Kg	**135.5**	**139.8**	**79.91**	**3**	CONFORME
	21	09-09-24	MM2 - 175 - 3	**175**	12.500	149.53	301.80	**175.60**	**0.00530**	**2.359**	16-09-24	**7**	**235.9**	24,055 Kg	**137.0**			**3**	CONFORME
	22	09-09-24	MM2 - 175 - 1	**175**	12.421	145.80	299.50	**166.96**	**0.00500**	**2.484**	23-09-24	**14**	**269.3**	27,461 Kg	**164.5**			**1**	CONFORME
	23	09-09-24	MM2 - 175 - 2	**175**	12.317	146.30	300.40	**168.10**	**0.00505**	**2.439**	23-09-24	**14**	**279.4**	28,490 Kg	**169.5**	**166.0**	**94.88**	**3**	CONFORME
	24	09-09-24	MM2 - 175 - 3	**175**	12.385	149.10	300.10	**174.60**	**0.00524**	**2.364**	23-09-24	**14**	**281.1**	28,664 Kg	**164.2**			**3**	CONFORME
	25	09-09-24	MM2 - 175 - 1	**175**	12.273	151.10	300.60	**179.32**	**0.00539**	**2.277**	07-10-24	**28**	**433.6**	44,214 Kg	**246.6**			**2**	CONFORME
	26	09-09-24	MM2 - 175 - 2	**175**	12.949	151.30	304.90	**179.79**	**0.00548**	**2.362**	07-10-24	**28**	**464.1**	47,324 Kg	**263.2**	**252.5**	**144.31**	**3**	CONFORME
	27	09-09-24	MM2 - 175 - 3	**175**	13.175	148.90	305.40	**174.13**	**0.00532**	**2.477**	07-10-24	**28**	**423.2**	43,154 Kg	**247.8**			**3**	CONFORME

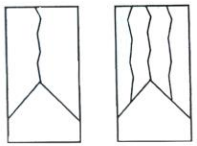
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



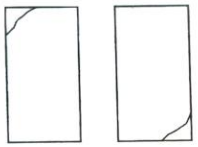
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



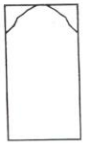
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



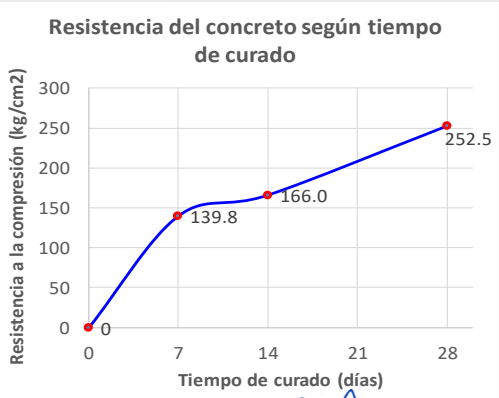
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

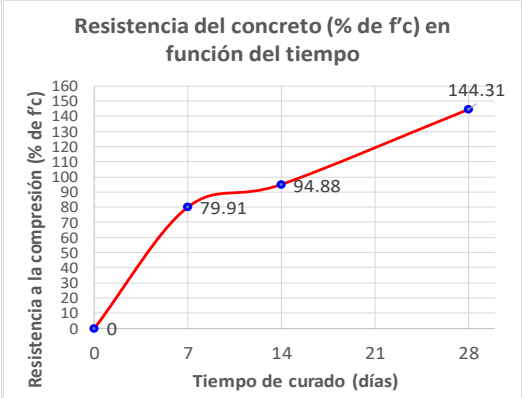


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 250014
ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.6. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=210 Kg/cm²

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

REGISTRO: 8

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

FECHA: SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

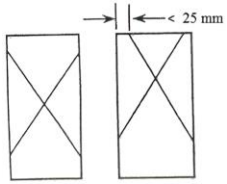
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA: MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA: FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	PROMEDIO: fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	64	10-09-24	MM2 - 210 - 1	**210**	12.256	150.42	298.95	**177.71**	**0.00531**	**2.307**	17-09-24	**7**	**299.8**	30,571 Kg	**172.0**			**3**	CONFORME
	65	10-09-24	MM2 - 210 - 2	**210**	12.056	150.45	299.35	**177.78**	**0.00532**	**2.265**	17-09-24	**7**	**305.9**	31,193 Kg	**175.5**	**174.5**	**83.09**	**3**	CONFORME
	66	10-09-24	MM2 - 210 - 3	**210**	12.485	150.78	302.95	**178.56**	**0.00541**	**2.308**	17-09-24	**7**	**308.2**	31,427 Kg	**176.0**			**2**	CONFORME
	67	10-09-24	MM2 - 210 - 1	**210**	12.458	150.50	299.45	**177.89**	**0.00533**	**2.339**	24-09-24	**14**	**341.5**	34,823 Kg	**195.7**			**3**	CONFORME
	68	10-09-24	MM2 - 210 - 2	**210**	12.582	150.30	303.20	**177.42**	**0.00538**	**2.339**	24-09-24	**14**	**325.6**	33,201 Kg	**187.1**	**191.7**	**91.28**	**3**	CONFORME
	69	10-09-24	MM2 - 210 - 3	**210**	12.449	150.85	302.00	**178.72**	**0.00540**	**2.306**	24-09-24	**14**	**336.8**	34,343 Kg	**192.2**			**2**	CONFORME
	70	10-09-24	MM2 - 210 - 1	**210**	12.539	150.85	300.85	**178.72**	**0.00538**	**2.332**	08-10-24	**28**	**472.5**	48,181 Kg	**269.6**			**2**	CONFORME
	71	10-09-24	MM2 - 210 - 2	**210**	12.358	150.24	303.45	**177.28**	**0.00538**	**2.297**	08-10-24	**28**	**482.7**	49,221 Kg	**277.6**	**271.2**	**129.14**	**3**	CONFORME
	72	10-09-24	MM2 - 210 - 3	**210**	12.745	152.45	299.85	**182.53**	**0.00547**	**2.329**	08-10-24	**28**	**476.8**	48,619 Kg	**266.4**			**3**	CONFORME

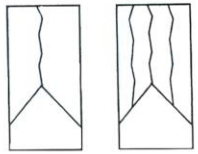
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



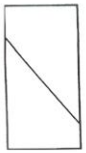
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



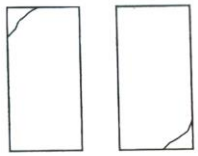
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



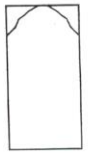
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



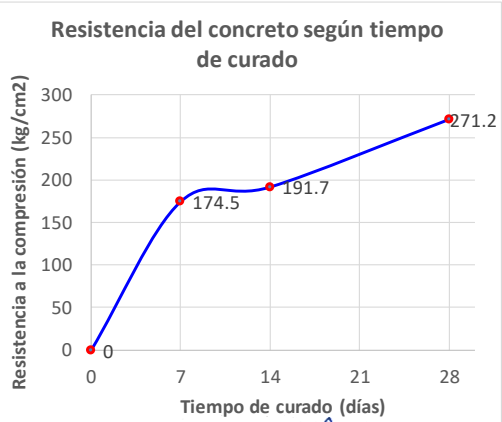
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

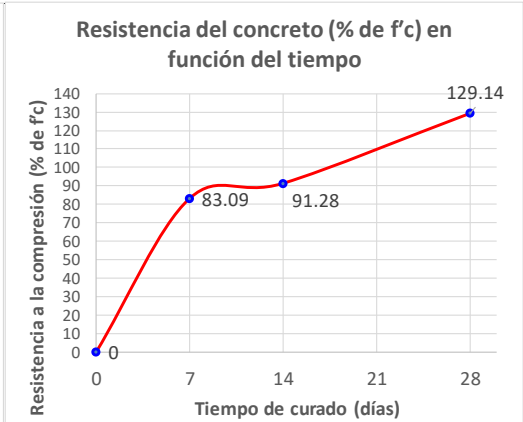


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHSE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER XCUISE TANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 260044
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.7. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=140 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA · CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 4

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

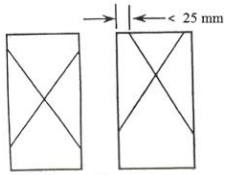
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	28	12-09-24	MM3 - 140 - 1	**140**	12.426	149.80	301.80	**176.24**	**0.00532**	**2.336**	19-09-24	**7**	**197.8**	20,170 Kg	**114.4**			**3**	CONFORME
	29	12-09-24	MM3 - 140 - 2	**140**	12.469	149.20	299.90	**174.83**	**0.00524**	**2.378**	19-09-24	**7**	**186.1**	18,977 Kg	**108.5**	**111.6**	**79.72**	**1**	CONFORME
	30	12-09-24	MM3 - 140 - 3	**140**	12.601	150.10	303.30	**176.95**	**0.00537**	**2.348**	19-09-24	**7**	**194.1**	19,792 Kg	**111.9**			**3**	CONFORME
	31	12-09-24	MM3 - 140 - 1	**140**	12.259	148.35	300.75	**172.85**	**0.00520**	**2.358**	26-09-24	**14**	**219.6**	22,393 Kg	**129.6**			**2**	CONFORME
	32	12-09-24	MM3 - 140 - 2	**140**	12.979	151.60	304.70	**180.50**	**0.00550**	**2.360**	26-09-24	**14**	**234.5**	23,912 Kg	**132.5**	**129.9**	**92.79**	**3**	CONFORME
	33	12-09-24	MM3 - 140 - 3	**140**	12.534	150.10	302.00	**176.95**	**0.00534**	**2.345**	26-09-24	**14**	**221.6**	22,597 Kg	**127.7**			**3**	CONFORME
	31	12-12-24	MM3 - 140 - 1	**140**	12.379	151.30	300.90	**179.79**	**0.00541**	**2.288**	09-01-25	**28**	**348.3**	35,516 Kg	**197.5**			**3**	CONFORME
	32	12-12-24	MM3 - 140 - 2	**140**	12.541	152.10	302.80	**181.70**	**0.00550**	**2.279**	09-01-25	**28**	**325.1**	33,150 Kg	**182.4**	**190.8**	**136.30**	**3**	CONFORME
	33	12-12-24	MM3 - 140 - 3	**140**	12.589	151.15	305.20	**179.43**	**0.00548**	**2.299**	09-01-25	**28**	**338.7**	34,537 Kg	**192.5**			**3**	CONFORME

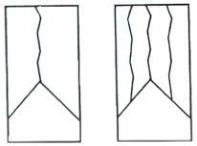
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



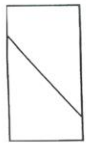
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



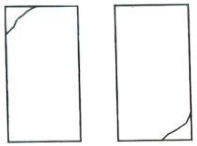
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



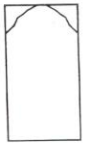
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



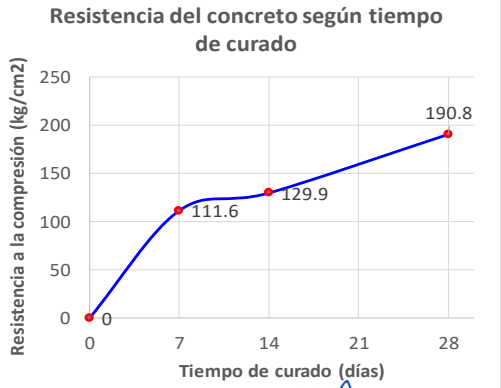
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

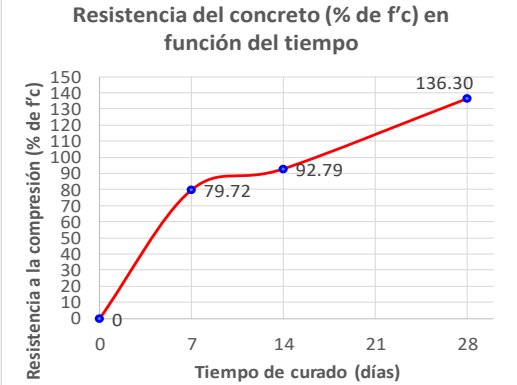


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 256614
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.8. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=175 Kg/cm²

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 9

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

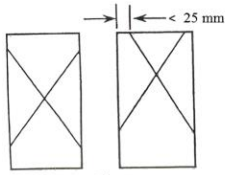
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	73	09-09-24	MM3 - 175 - 1	**175**	12.045	148.50	299.80	**173.20**	**0.00519**	**2.320**	16-09-24	**7**	**252.5**	25,747 Kg	**148.7**			**3**	CONFORME
	74	09-09-24	MM3 - 175 - 2	**175**	12.486	150.26	302.45	**177.33**	**0.00536**	**2.328**	16-09-24	**7**	**249.7**	25,462 Kg	**143.6**	**145.0**	**82.89**	**3**	CONFORME
	75	09-09-24	MM3 - 175 - 3	**175**	12.049	149.10	297.90	**174.60**	**0.00520**	**2.317**	16-09-24	**7**	**244.7**	24,951 Kg	**142.9**			**3**	CONFORME
	76	09-09-24	MM3 - 175 - 1	**175**	12.745	150.24	301.44	**177.28**	**0.00534**	**2.385**	23-09-24	**14**	**284.2**	28,980 Kg	**163.5**			**3**	CONFORME
	77	09-09-24	MM3 - 175 - 2	**175**	12.748	150.48	302.45	**177.85**	**0.00538**	**2.370**	23-09-24	**14**	**298.9**	30,479 Kg	**171.4**	**165.1**	**94.34**	**2**	CONFORME
	78	09-09-24	MM3 - 175 - 3	**175**	12.896	153.00	301.15	**183.85**	**0.00554**	**2.329**	23-09-24	**14**	**289.3**	29,500 Kg	**160.5**			**2**	CONFORME
	79	09-09-24	MM3 - 175 - 1	**175**	12.541	150.48	301.25	**177.85**	**0.00536**	**2.341**	07-10-24	**28**	**451.8**	46,070 Kg	**259.0**			**2**	CONFORME
	80	09-09-24	MM3 - 175 - 2	**175**	12.383	150.48	301.45	**177.85**	**0.00536**	**2.310**	07-10-24	**28**	**449.8**	45,866 Kg	**257.9**	**255.6**	**146.06**	**3**	CONFORME
	81	09-09-24	MM3 - 175 - 3	**175**	12.458	152.45	300.45	**182.53**	**0.00548**	**2.272**	07-10-24	**28**	**447.3**	45,611 Kg	**249.9**			**4**	CONFORME

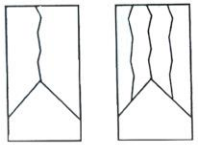
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



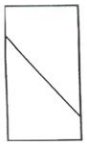
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



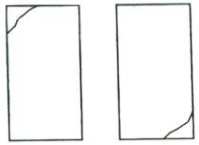
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



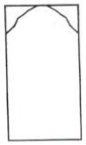
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



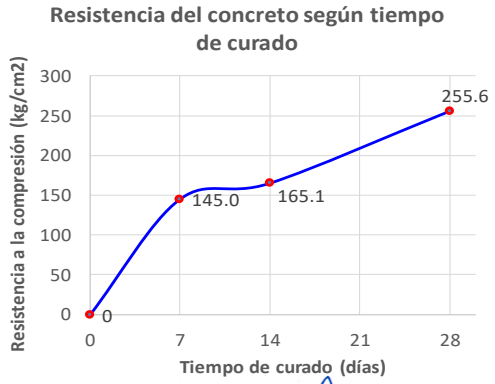
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

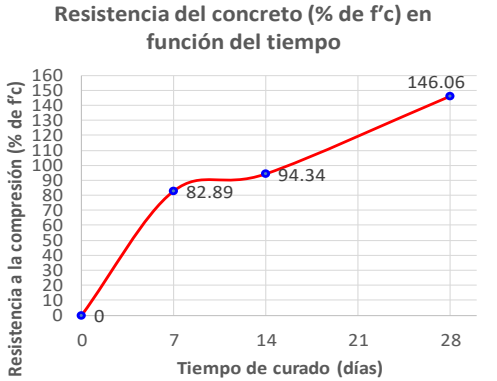


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 256414
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.1.9. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=210 Kg/cm²

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 5

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** SETIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

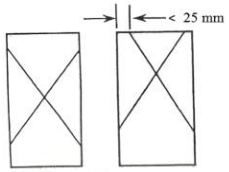
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	37	11-09-24	MM3 - 210 - 1	**210**	12.641	149.90	301.10	**176.48**	**0.00531**	**2.379**	18-09-24	**7**	**299.8**	30,571 Kg	**173.2**			**3**	CONFORME
	38	11-09-24	MM3 - 210 - 2	**210**	12.445	148.10	300.40	**172.27**	**0.00517**	**2.405**	18-09-24	**7**	**304.0**	30,999 Kg	**179.9**	**178.1**	**84.81**	**3**	CONFORME
	39	11-09-24	MM3 - 210 - 3	**210**	12.519	147.10	300.70	**169.95**	**0.00511**	**2.450**	18-09-24	**7**	**301.9**	30,785 Kg	**181.1**			**3**	CONFORME
	40	11-09-24	MM3 - 210 - 1	**210**	12.864	149.50	302.70	**175.54**	**0.00531**	**2.421**	25-09-24	**14**	**343.7**	35,047 Kg	**199.7**			**3**	CONFORME
	41	11-09-24	MM3 - 210 - 2	**210**	12.725	147.10	300.80	**169.95**	**0.00511**	**2.489**	25-09-24	**14**	**336.8**	34,343 Kg	**202.1**	**198.3**	**94.43**	**3**	CONFORME
	42	11-09-24	MM3 - 210 - 3	**210**	12.778	149.10	302.70	**174.60**	**0.00529**	**2.418**	25-09-24	**14**	**330.8**	33,732 Kg	**193.2**			**4**	CONFORME
	43	11-09-24	MM3 - 210 - 1	**210**	12.271	148.10	300.30	**172.27**	**0.00517**	**2.372**	09-10-24	**28**	**435.1**	44,367 Kg	**257.5**			**3**	CONFORME
	44	11-09-24	MM3 - 210 - 2	**210**	13.206	150.30	305.10	**177.42**	**0.00541**	**2.440**	09-10-24	**28**	**464.3**	47,345 Kg	**266.8**	**263.1**	**125.30**	**3**	CONFORME
	45	11-09-24	MM3 - 210 - 3	**210**	13.002	150.10	303.60	**176.95**	**0.00537**	**2.420**	09-10-24	**28**	**459.8**	46,886 Kg	**265.0**			**2**	CONFORME

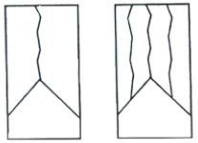
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
EQ	PC - 180									
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



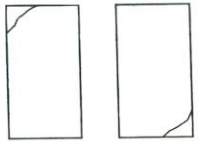
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



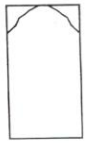
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



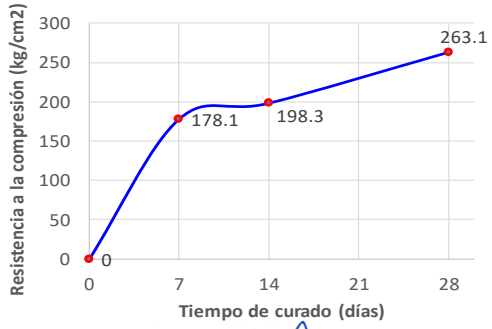
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

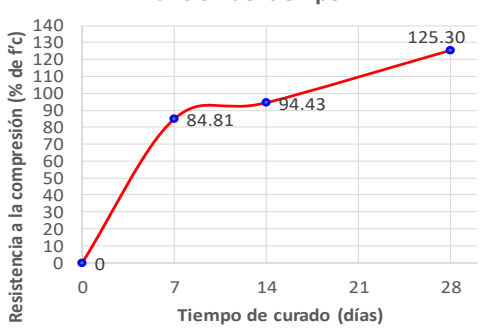


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 216014
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.2. Ensayos a la resistencia a la compresión cantera “Chillico”

E.2.1. Ensayos a compresión uniaxial de f’c=140 Kg/cm²

AKHISE	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 1

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR — **FECHA:** DICIEMBRE DE 2024

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

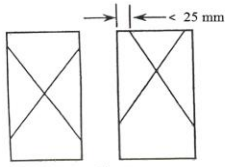
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	1	10-12-24	CM1 - 140 - 1	**140**	12.359	150.85	303.20	**178.72**	**0.00542**	**2.281**	17-12-24	**7**	**175.9**	17,937 Kg	**100.4**			**3**	CONFORME
	2	10-12-24	CM1 - 140 - 2	**140**	12.264	150.00	304.10	**176.71**	**0.00537**	**2.282**	17-12-24	**7**	**167.5**	17,080 Kg	**96.7**	**95.8**	**68.43**	**3**	CONFORME
	3	10-12-24	CM1 - 140 - 3	**140**	3.794	102.25	205.75	**82.11**	**0.00169**	**2.246**	17-12-24	**7**	**72.8**	7,423 Kg	**90.4**			**4**	CONFORME
	4	10-12-24	CM1 - 140 - 1	**140**	12.749	150.80	300.55	**178.60**	**0.00537**	**2.375**	24-12-24	**14**	**208.5**	21,261 Kg	**119.0**			**3**	CONFORME
	5	10-12-24	CM1 - 140 - 2	**140**	12.352	151.50	301.10	**180.27**	**0.00543**	**2.276**	24-12-24	**14**	**221.9**	22,627 Kg	**125.5**	**121.9**	**87.09**	**3**	CONFORME
	6	10-12-24	CM1 - 140 - 3	**140**	12.320	151.85	302.20	**181.10**	**0.00547**	**2.251**	24-12-24	**14**	**215.3**	21,954 Kg	**121.2**			**3**	CONFORME
	7	10-12-24	CM1 - 140 - 1	**140**	12.398	150.10	305.40	**176.95**	**0.00540**	**2.294**	07-01-25	**28**	**264.5**	26,971 Kg	**152.4**			**4**	CONFORME
	8	10-12-24	CM1 - 140 - 2	**140**	12.350	150.60	304.80	**178.13**	**0.00543**	**2.275**	07-01-25	**28**	**252.1**	25,707 Kg	**144.3**	**156.4**	**111.73**	**3**	CONFORME
	9	10-12-24	CM1 - 140 - 3	**140**	3.854	103.15	204.70	**83.57**	**0.00171**	**2.253**	07-01-25	**28**	**141.4**	14,419 Kg	**172.5**			**3**	CONFORME

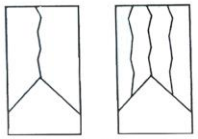
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
EQ	PC - 180									
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



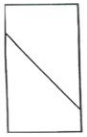
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



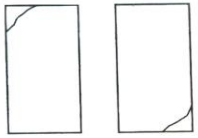
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



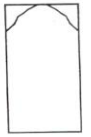
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



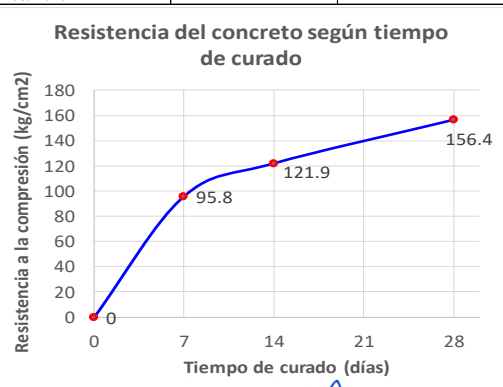
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

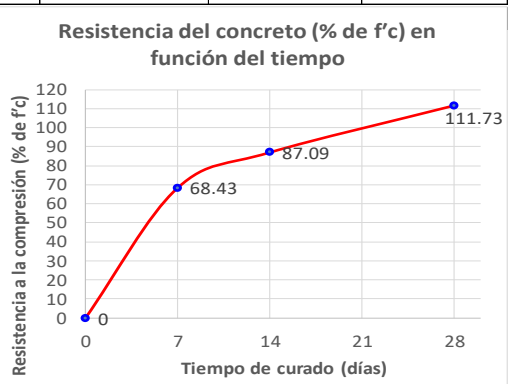


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 269614
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.2.2. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=175 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA - CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 3

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** DICIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

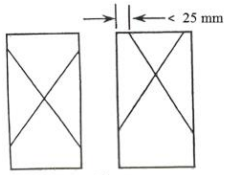
1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA / 2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA			f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	ENSAYO ROTURA					PROMEDIO		FALLA	NOTA
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA								FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%		
	19	11-12-24	CM1 - 175 - 1	**175**	11.631	147.15	303.10	**170.06**	**0.00515**	**2.256**	18-12-24	**7**	**227.0**	23,147 Kg	**136.1**			**4**	CONFORME
	20	11-12-24	CM1 - 175 - 2	**175**	12.296	150.00	302.95	**176.71**	**0.00535**	**2.297**	18-12-24	**7**	**247.7**	25,258 Kg	**142.9**	**141.4**	**80.78**	**3**	CONFORME
	21	11-12-24	CM1 - 175 - 3	**175**	12.361	150.55	300.25	**178.01**	**0.00534**	**2.313**	18-12-24	**7**	**253.2**	25,819 Kg	**145.0**			**3**	CONFORME
	22	11-12-24	CM1 - 175 - 1	**175**	12.577	151.15	305.35	**179.43**	**0.00548**	**2.295**	25-12-24	**14**	**282.8**	28,837 Kg	**160.7**			**5**	CONFORME
	23	11-12-24	CM1 - 175 - 2	**175**	3.773	102.50	203.70	**82.52**	**0.00168**	**2.245**	25-12-24	**14**	**131.4**	13,399 Kg	**162.4**	**160.0**	**91.43**	**3**	CONFORME
	24	11-12-24	CM1 - 175 - 3	**175**	12.339	151.95	302.75	**181.34**	**0.00549**	**2.248**	25-12-24	**14**	**279.1**	28,460 Kg	**156.9**			**5**	CONFORME
	25	11-12-24	CM1 - 175 - 1	**175**	3.935	103.40	203.40	**83.97**	**0.00171**	**2.304**	08-01-25	**28**	**207.8**	21,189 Kg	**252.3**			**2**	CONFORME
	26	11-12-24	CM1 - 175 - 2	**175**	12.523	152.60	305.25	**182.89**	**0.00558**	**2.243**	08-01-25	**28**	**425.9**	43,429 Kg	**237.5**	**259.2**	**148.13**	**3**	CONFORME
	27	11-12-24	CM1 - 175 - 3	**175**	12.587	153.50	305.50	**185.06**	**0.00565**	**2.226**	08-01-25	**28**	**522.5**	53,279 Kg	**287.9**			**3**	CONFORME

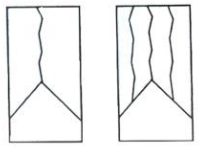
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
EQ	PC - 180									
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F−00590−002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



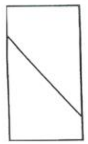
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



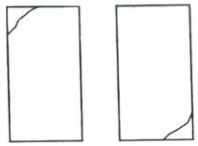
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



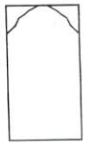
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



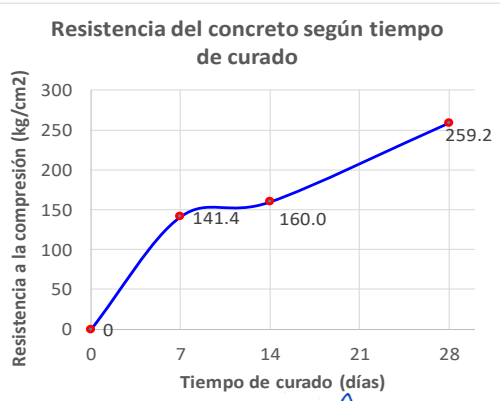
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

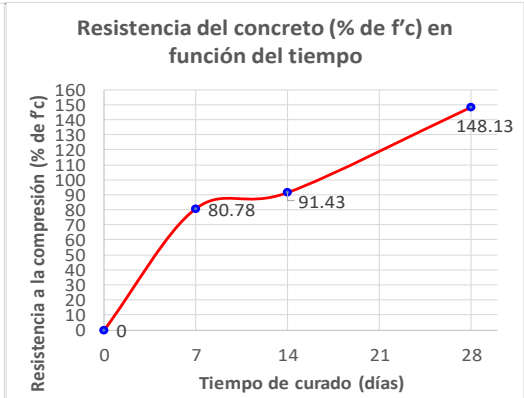


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 224000
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.3.3. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=210 Kg/cm²

AKHISE GEOTECNIA - CONCRETO	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 5

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** DICIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

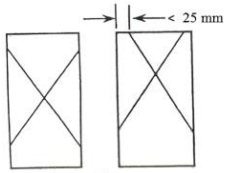
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	37	12-12-24	CM1 - 210 - 1	**210**	3.906	102.40	204.90	**82.35**	**0.00169**	**2.315**	19-12-24	**7**	**127.7**	13,022 Kg	**158.1**	**154.1**	**73.39**	**3**	CONFORME
	38	12-12-24	CM1 - 210 - 2	**210**	3.988	102.45	205.80	**82.44**	**0.00170**	**2.351**	19-12-24	**7**	**121.8**	12,420 Kg	**150.7**			**3**	CONFORME
	39	12-12-24	CM1 - 210 - 3	**210**	12.486	148.25	303.20	**172.62**	**0.00523**	**2.386**	19-12-24	**7**	**260.0**	26,512 Kg	**153.6**			**3**	CONFORME
	40	12-12-24	CM1 - 210 - 1	**210**	12.518	152.05	303.95	**181.58**	**0.00552**	**2.268**	26-12-24	**14**	**334.8**	34,140 Kg	**188.0**	**188.5**	**89.77**	**3**	CONFORME
	41	12-12-24	CM1 - 210 - 2	**210**	12.342	150.25	304.45	**177.30**	**0.00540**	**2.286**	26-12-24	**14**	**315.9**	32,212 Kg	**181.7**			**3**	CONFORME
	42	12-12-24	CM1 - 210 - 3	**210**	11.868	147.90	302.75	**171.80**	**0.00520**	**2.282**	26-12-24	**14**	**330.0**	33,650 Kg	**195.9**			**3**	CONFORME
	43	12-12-24	CM1 - 210 - 1	**210**	12.379	153.30	300.90	**184.58**	**0.00555**	**2.229**	09-01-25	**28**	**548.3**	55,910 Kg	**302.9**	**312.6**	**148.86**	**3**	CONFORME
	44	12-12-24	CM1 - 210 - 2	**210**	12.541	152.10	302.80	**181.70**	**0.00550**	**2.279**	09-01-25	**28**	**525.1**	53,544 Kg	**294.7**			**2**	CONFORME
	45	12-12-24	CM1 - 210 - 3	**210**	12.589	151.15	305.20	**179.43**	**0.00548**	**2.299**	09-01-25	**28**	**598.7**	61,049 Kg	**340.2**			**2**	CONFORME

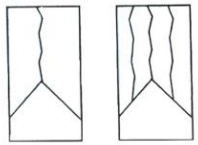
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

				FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN
EQ	PC - 180					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



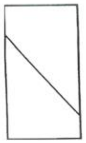
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



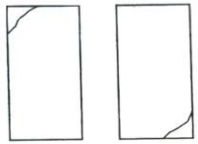
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



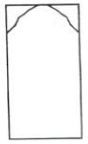
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



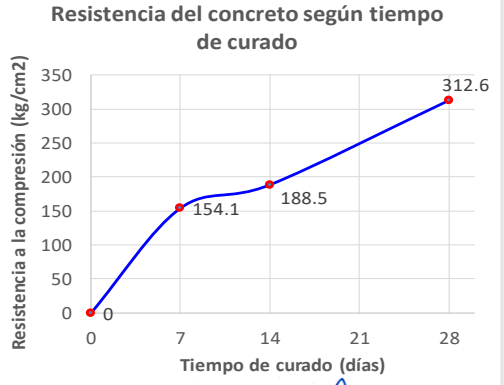
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

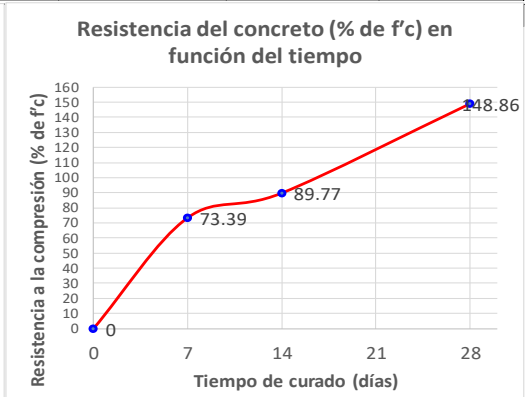


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 266644
ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.4.4. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=140 Kg/cm²

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024" — **REGISTRO:** 2

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO — **FECHA:** DICIEMBRE DE 2024

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

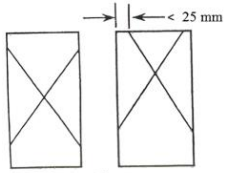
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	10	13-12-24	CM2 - 140 - 1	**140**	12.341	149.50	304.00	**175.54**	**0.00534**	**2.313**	20-12-24	**7**	**194.3**	19,813 Kg	**112.9**			**3**	CONFORME
	11	13-12-24	CM2 - 140 - 2	**140**	12.191	150.00	300.25	**176.71**	**0.00531**	**2.298**	20-12-24	**7**	**186.2**	18,987 Kg	**107.4**	**113.1**	**80.81**	**4**	CONFORME
	12	13-12-24	CM2 - 140 - 3	**140**	11.436	146.15	303.10	**167.76**	**0.00508**	**2.249**	20-12-24	**7**	**195.9**	19,976 Kg	**119.1**			**3**	CONFORME
	13	13-12-24	CM2 - 140 - 1	**140**	12.684	152.30	300.50	**182.18**	**0.00547**	**2.317**	27-12-24	**14**	**230.5**	23,504 Kg	**129.0**			**3**	CONFORME
	14	13-12-24	CM2 - 140 - 2	**140**	13.020	151.70	301.80	**180.74**	**0.00545**	**2.387**	27-12-24	**14**	**238.0**	24,269 Kg	**134.3**	**130.6**	**93.30**	**4**	CONFORME
	15	13-12-24	CM2 - 140 - 3	**140**	13.210	152.40	302.60	**182.41**	**0.00552**	**2.393**	27-12-24	**14**	**230.0**	23,453 Kg	**128.6**			**3**	CONFORME
	16	13-12-24	CM2 - 140 - 1	**140**	12.308	150.90	302.40	**178.84**	**0.00541**	**2.276**	10-01-25	**28**	**403.5**	41,145 Kg	**230.1**			**3**	CONFORME
	17	13-12-24	CM2 - 140 - 2	**140**	12.302	150.55	299.30	**178.01**	**0.00533**	**2.309**	10-01-25	**28**	**384.3**	39,187 Kg	**220.1**	**222.2**	**158.73**	**3**	CONFORME
	18	13-12-24	CM2 - 140 - 3	**140**	12.505	151.50	306.45	**180.27**	**0.00552**	**2.264**	10-01-25	**28**	**382.7**	39,024 Kg	**216.5**			**2**	CONFORME

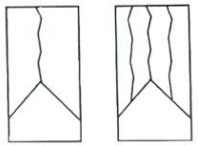
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



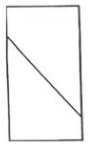
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



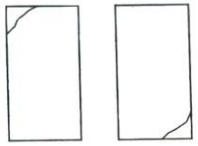
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



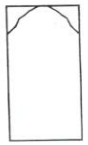
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



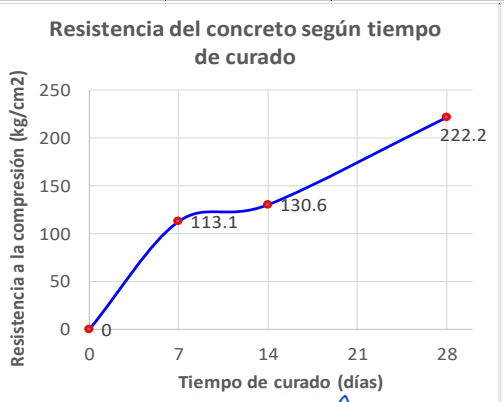
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

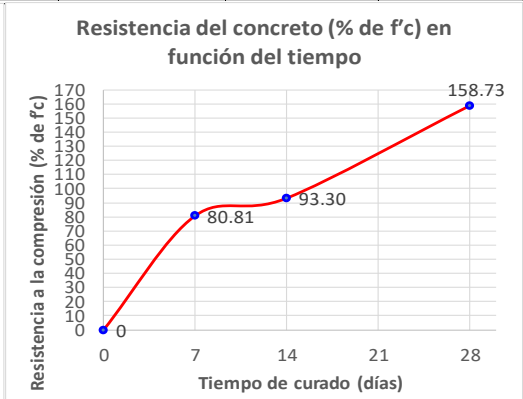


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE LANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 250[illegible]
AREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.5.5. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=175 Kg/cm²

AKHISE	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

REGISTRO: 4

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

FECHA: FEBRERO DE 2025

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

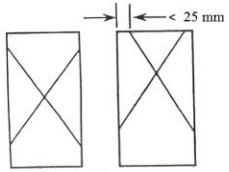
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA									ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	28	31-12-24	CM2 - 175 - 1	**175**	12.462	152.60	304.30	**182.89**	**0.00557**	**2.239**	07-01-25	**7**	**228.1**	23,259 Kg	**127.2**			**4**	CONFORME
	29	31-12-24	CM2 - 175 - 2	**175**	12.284	152.70	299.40	**183.13**	**0.00548**	**2.240**	07-01-25	**7**	**245.4**	25,023 Kg	**136.6**	**135.1**	**77.20**	**3**	CONFORME
	30	31-12-24	CM2 - 175 - 3	**175**	12.357	151.20	302.20	**179.55**	**0.00543**	**2.277**	07-01-25	**7**	**249.1**	25,401 Kg	**141.5**			**3**	CONFORME
	31	31-12-24	CM2 - 175 - 1	**175**	11.755	149.80	300.60	**176.24**	**0.00530**	**2.219**	14-01-25	**14**	**260.6**	26,573 Kg	**150.8**			**2**	CONFORME
	32	31-12-24	CM2 - 175 - 2	**175**	12.373	148.90	300.00	**174.13**	**0.00522**	**2.369**	14-01-25	**14**	**255.1**	26,013 Kg	**149.4**	**150.7**	**86.10**	**3**	CONFORME
	33	31-12-24	CM2 - 175 - 3	**175**	12.425	149.10	302.10	**174.60**	**0.00527**	**2.356**	14-01-25	**14**	**260.0**	26,512 Kg	**151.8**			**4**	CONFORME
	34	31-12-24	CM2 - 175 - 1	**175**	12.536	149.90	301.00	**176.48**	**0.00531**	**2.360**	28-01-25	**28**	**311.6**	31,774 Kg	**180.0**			**2**	CONFORME
	35	31-12-24	CM2 - 175 - 2	**175**	13.054	151.10	301.30	**179.32**	**0.00540**	**2.416**	28-01-25	**28**	**409.1**	41,716 Kg	**232.6**	**216.3**	**123.59**	**3**	CONFORME
	36	31-12-24	CM2 - 175 - 3	**175**	12.853	150.10	302.40	**176.95**	**0.00535**	**2.402**	28-01-25	**28**	**409.8**	41,787 Kg	**236.2**			**3**	CONFORME

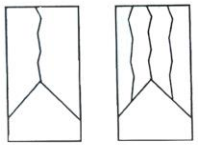
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN					
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0					

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



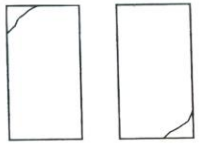
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



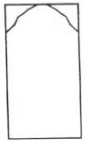
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



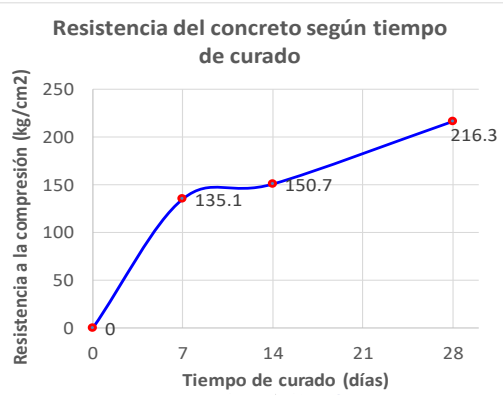
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

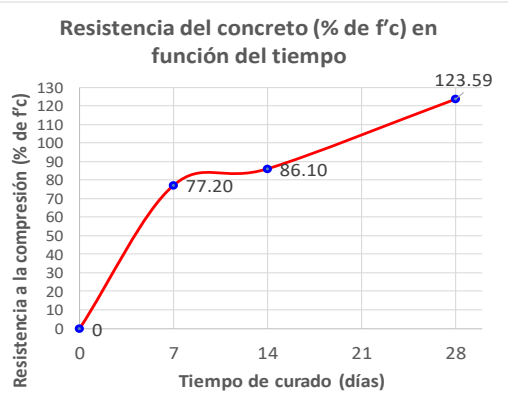


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER XQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 255554
ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

E.6.6. Ensayos a compresión uniaxial de f'c=210 Kg/cm²

AKHISE	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO MTC E 704 : NTP 339.034**	Versión del documento: 01 Elaborado por: Responsable de Laboratorio

PROYECTO: "APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2024"

REGISTRO: 6

LUGAR: AYACUCHO / HUAMANGA / AYACUCHO

SOLICITANTE: RAMOS CAVALCANTI, JULIO CESAR

FECHA: FEBRERO DE 2025

1. IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

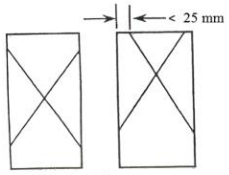
2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

N	MUESTREO PROBETA										ENSAYO ROTURA					PROMEDIO			
	MUESTRA N°	FECHA DE MUESTREO	CODIGO DE PROBETA	f'c kg/cm²	PESO (kg)	Ø prom mm	H prom mm	AREA cm²	VOL. m³	DENS. kg/m³	FECHA	EDAD	LECT (KN)	LECT(kg)	fc (kg/cm²)	fc (kg/cm2)	%	FALLA	NOTA
	46	02-10-25	CM2 - 210 - 1	**210**	11.790	152.90	302.35	**183.61**	**0.00555**	**2.124**	09-10-25	**7**	**269.9**	27,522 Kg	**149.9**			**3**	CONFORME
	47	02-01-25	CM2 - 210 - 2	**210**	12.541	152.50	301.10	**182.65**	**0.00550**	**2.280**	09-01-25	**7**	**300.6**	30,652 Kg	**167.8**	**157.9**	**75.20**	**3**	CONFORME
	48	02-01-25	CM2 - 210 - 3	**210**	12.589	152.10	305.40	**181.70**	**0.00555**	**2.269**	09-01-25	**7**	**278.1**	28,358 Kg	**156.1**			**2**	CONFORME
	49	02-10-25	CM2 - 210 - 1	**210**	12.419	150.90	303.90	**178.84**	**0.00543**	**2.285**	16-10-25	**14**	**333.9**	34,048 Kg	**190.4**			**3**	CONFORME
	50	02-01-25	CM2 - 210 - 2	**210**	12.647	150.70	303.10	**178.37**	**0.00541**	**2.339**	16-01-25	**14**	**340.7**	34,741 Kg	**194.8**	**196.5**	**93.59**	**4**	CONFORME
	51	02-01-25	CM2 - 210 - 3	**210**	12.513	151.00	302.90	**179.08**	**0.00542**	**2.307**	16-01-25	**14**	**359.1**	36,617 Kg	**204.5**			**3**	CONFORME
	52	02-01-25	CM2 - 210 - 1	**210**	12.937	150.30	301.70	**177.42**	**0.00535**	**2.417**	30-01-25	**28**	**419.7**	42,797 Kg	**241.2**			**3**	CONFORME
	53	02-01-25	CM2 - 210 - 2	**210**	12.579	150.40	302.30	**177.66**	**0.00537**	**2.342**	30-01-25	**28**	**448.1**	45,693 Kg	**257.2**	**248.7**	**118.42**	**4**	CONFORME
	54	02-01-25	CM2 - 210 - 3	**210**	13.041	151.10	303.60	**179.32**	**0.00544**	**2.395**	30-01-25	**28**	**435.5**	44,408 Kg	**247.7**			**3**	CONFORME

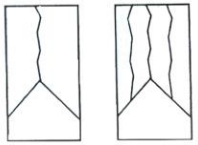
3. EQUIPO DE MEDICIÓN

EQ	PC - 180			FABRICANTE	FECHA DE CALIBRACIÓN	CERT.CALIBRACIÓN				
ID	157			PINZUAR LTDA	03/12/2024	F-00590-002 R0				

4. A N E X O: Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



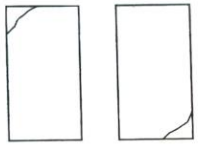
Tipo 2
Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



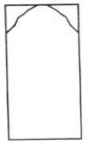
Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



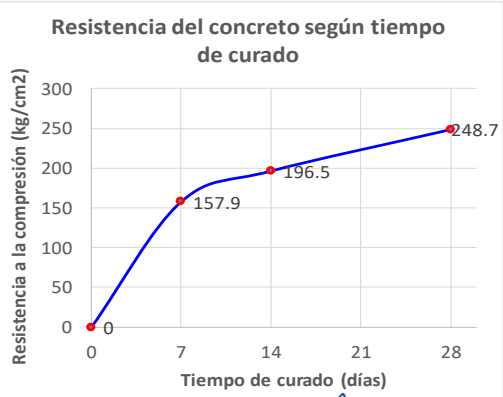
Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

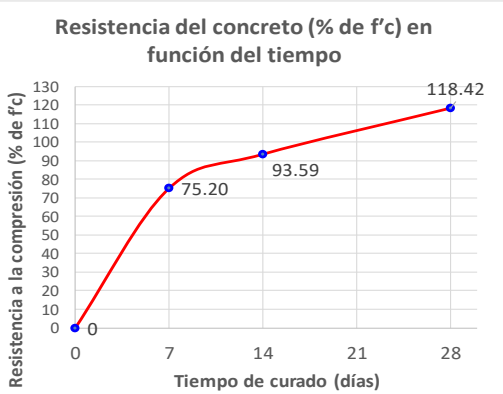


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las cpas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado





AKHISE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
WELHNER AQUISE JANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 200214
ÁREA DE SUELOS Y CONCRETO

Responsable Laboratorio

Anexo F

F1. Datos de entrada y salida para el entrenamiento del modelo de RNA

Base de datos empleada para el entrenamiento del modelo el cual consta de un total de 806 registros.

	VARIABLES DE ENTRADA																	VARIABLE DE SALIDA			
Nº	Tamaño Máximo Nominal (pulg)	Módulo de Finura del Agregado Fino	Módulo de Finura del Agregado Grueso	Peso Unitario Suelto del Agregado Fino (Kg/m3)	Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso (Kg/m3)	Peso Unitario Compactado del Agregado Fino (Kg/m3)	Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso	Peso Específico del Cemento	Peso Específico de masa del Agregado Fino	Peso Específico de masa del Agregado Grueso	Absorción del Agregado Fino (%)	Absorción del Agregado Grueso (%)	Contenido de Humedad del Agregado Fino (%)	Contenido de Humedad del Agregado Grueso (%)	Relación Agua - Cemento de Diseño	Edad de Ensayo (días)	Resistencia de Diseño (Kg/cm2)	Resistencia de Testigo (Kg/cm2)	Cemento (Kg/m3)	Agregado Fino (Kg/m3)	Agregado Grueso (Kg/m3)	Agua (l/m3)
1	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	187.54	366.07	775.75	954.33	187.81
2	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	206.32	366.07	775.75	954.33	187.81
3	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	215.26	366.07	775.75	954.33	187.81
4	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	220.27	366.07	775.75	954.33	187.81
5	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	189.38	366.07	775.75	954.33	187.81
6	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	192.55	366.07	775.75	954.33	187.81
7	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	201.89	366.07	775.75	954.33	187.81
8	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	196.13	366.07	775.75	954.33	187.81
9	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	195.91	366.07	775.75	954.33	187.81
10	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	202.93	366.07	775.75	954.33	187.81
11	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	192.76	366.07	775.75	954.33	187.81
12	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	216.86	366.07	775.75	954.33	187.81
13	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	214.51	366.07	775.75	954.33	187.81
14	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	203.18	366.07	775.75	954.33	187.81
15	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	212.62	366.07	775.75	954.33	187.81
16	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	229.25	366.07	775.75	954.33	187.81
17	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	190.95	366.07	775.75	954.33	187.81
18	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	230.49	366.07	775.75	954.33	187.81
19	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	227.20	366.07	775.75	954.33	187.81
20	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	227.10	366.07	775.75	954.33	187.81
21	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	219.60	366.07	775.75	954.33	187.81
22	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	224.31	366.07	775.75	954.33	187.81
23	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	228.04	366.07	775.75	954.33	187.81
24	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	230.72	366.07	775.75	954.33	187.81
25	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	227.79	366.07	775.75	954.33	187.81
26	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	225.80	366.07	775.75	954.33	187.81
27	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	225.83	366.07	775.75	954.33	187.81
28	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	7.00	210.00	227.08	366.07	775.75	954.33	187.81
29	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	232.59	366.07	775.75	954.33	187.81
30	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	244.84	366.07	775.75	954.33	187.81
31	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	260.85	366.07	775.75	954.33	187.81
32	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	255.14	366.07	775.75	954.33	187.81
33	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	261.81	366.07	775.75	954.33	187.81
34	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	267.31	366.07	775.75	954.33	187.81
35	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	253.76	366.07	775.75	954.33	187.81

36	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	262.78	366.07	775.75	954.33	187.81
37	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	266.75	366.07	775.75	954.33	187.81
38	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	258.64	366.07	775.75	954.33	187.81
39	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	249.80	366.07	775.75	954.33	187.81
40	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	244.00	366.07	775.75	954.33	187.81
41	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	252.61	366.07	775.75	954.33	187.81
42	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	255.76	366.07	775.75	954.33	187.81
43	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	271.60	366.07	775.75	954.33	187.81
44	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	261.85	366.07	775.75	954.33	187.81
45	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	255.10	366.07	775.75	954.33	187.81
46	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	284.78	366.07	775.75	954.33	187.81
47	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	231.71	366.07	775.75	954.33	187.81
48	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	280.55	366.07	775.75	954.33	187.81
49	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	264.26	366.07	775.75	954.33	187.81
50	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	293.59	366.07	775.75	954.33	187.81
51	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	287.66	366.07	775.75	954.33	187.81
52	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	321.24	366.07	775.75	954.33	187.81
53	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	281.68	366.07	775.75	954.33	187.81
54	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	246.76	366.07	775.75	954.33	187.81
55	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	290.10	366.07	775.75	954.33	187.81
56	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	14.00	210.00	286.84	366.07	775.75	954.33	187.81
57	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	307.57	366.07	775.75	954.33	187.81
58	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	316.25	366.07	775.75	954.33	187.81
59	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	306.60	366.07	775.75	954.33	187.81
60	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	318.84	366.07	775.75	954.33	187.81
61	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	300.99	366.07	775.75	954.33	187.81
62	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	322.09	366.07	775.75	954.33	187.81
63	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	312.06	366.07	775.75	954.33	187.81
64	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	313.88	366.07	775.75	954.33	187.81
65	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	311.05	366.07	775.75	954.33	187.81
66	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	310.84	366.07	775.75	954.33	187.81
67	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	315.22	366.07	775.75	954.33	187.81
68	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	309.66	366.07	775.75	954.33	187.81
69	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	316.30	366.07	775.75	954.33	187.81
70	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	312.82	366.07	775.75	954.33	187.81
71	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	326.23	366.07	775.75	954.33	187.81
72	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	325.78	366.07	775.75	954.33	187.81
73	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	327.23	366.07	775.75	954.33	187.81
74	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	311.68	366.07	775.75	954.33	187.81
75	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	326.08	366.07	775.75	954.33	187.81
76	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	328.24	366.07	775.75	954.33	187.81
77	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	324.21	366.07	775.75	954.33	187.81
78	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	338.17	366.07	775.75	954.33	187.81
79	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	318.86	366.07	775.75	954.33	187.81

80	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	339.09	366.07	775.75	954.33	187.81
81	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	331.59	366.07	775.75	954.33	187.81
82	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	350.47	366.07	775.75	954.33	187.81
83	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	346.35	366.07	775.75	954.33	187.81
84	3/4	2.98	7.75	1699.96	1390.12	1907.48	1563.10	3.15	2.51	2.57	2.67	1.87	5.59	1.42	0.56	28.00	210.00	337.42	366.07	775.75	954.33	187.81
85	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	195.80	372.7	877.5	909.1	206.9
86	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	189.25	372.7	877.5	909.1	206.9
87	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	156.35	372.7	877.5	909.1	206.9
88	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	202.07	372.7	877.5	909.1	206.9
89	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	208.45	372.7	877.5	909.1	206.9
90	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	208.07	372.7	877.5	909.1	206.9
91	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	290.05	372.7	877.5	909.1	206.9
92	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	292.05	372.7	877.5	909.1	206.9
93	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	298.03	372.7	877.5	909.1	206.9
94	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	213.50	372.7	856	909.1	207.1
95	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	235.80	372.7	856	909.1	207.1
96	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	220.20	372.7	856	909.1	207.1
97	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	295.80	372.7	856	909.1	207.1
98	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	299.60	372.7	856	909.1	207.1
99	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	296.70	372.7	856	909.1	207.1
100	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	336.70	372.7	856	909.1	207.1
101	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	342.30	372.7	856	909.1	207.1
102	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	344.70	372.7	856	909.1	207.1
103	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	262.90	372.7	861.4	909.1	207
104	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	275.30	372.7	861.4	909.1	207
105	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	273.30	372.7	861.4	909.1	207
106	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	332.00	372.7	861.4	909.1	207
107	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	343.80	372.7	861.4	909.1	207
108	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	342.60	372.7	861.4	909.1	207
109	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	381.00	372.7	861.4	909.1	207
110	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	380.50	372.7	861.4	909.1	207
111	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	368.70	372.7	861.4	909.1	207
112	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	295.70	372.7	856	909.1	207.1
113	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	276.10	372.7	856	909.1	207.1
114	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	7.00	210.00	270.00	372.7	856	909.1	207.1
115	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	344.70	372.7	856	909.1	207.1
116	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	353.60	372.7	856	909.1	207.1
117	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	14.00	210.00	346.30	372.7	856	909.1	207.1
118	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	393.70	372.7	856	909.1	207.1
119	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	397.90	372.7	856	909.1	207.1
120	3/4	3.20	7.35	1597.00	1361.00	1745.00	1545.00	3.11	2.70	2.60	3.80	2.53	4.84	1.35	0.55	28.00	210.00	393.40	372.7	856	909.1	207.1
121	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	192.13	367.1	855.6	957.3	190
122	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	203.75	367.1	855.6	957.3	190
123	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	191.35	367.1	855.6	957.3	190

124	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	232.13	367.1	855.6	957.3	190
125	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	236.93	367.1	855.6	957.3	190
126	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	233.99	367.1	855.6	957.3	190
127	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	256.70	367.1	855.6	957.3	190
128	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	241.91	367.1	855.6	957.3	190
129	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	246.79	367.1	855.6	957.3	190
130	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	223.75	367.1	851.4	952.6	190
131	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	228.16	367.1	851.4	952.6	190
132	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	232.94	367.1	851.4	952.6	190
133	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	283.77	367.1	851.4	952.6	190
134	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	263.48	367.1	851.4	952.6	190
135	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	270.41	367.1	851.4	952.6	190
136	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	296.09	367.1	851.4	952.6	190
137	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	292.13	367.1	851.4	952.6	190
138	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	294.22	367.1	851.4	952.6	190
139	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	256.97	367.1	847.3	947.9	190.1
140	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	270.17	367.1	847.3	947.9	190.1
141	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	272.22	367.1	847.3	947.9	190.1
142	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	301.55	367.1	847.3	947.9	190.1
143	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	315.41	367.1	847.3	947.9	190.1
144	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	306.46	367.1	847.3	947.9	190.1
145	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	342.72	367.1	847.3	947.9	190.1
146	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	347.46	367.1	847.3	947.9	190.1
147	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	324.39	367.1	847.3	947.9	190.1
148	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	254.39	367.1	843.1	943.3	190.2
149	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	264.79	367.1	843.1	943.3	190.2
150	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	266.40	367.1	843.1	943.3	190.2
151	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	342.72	367.1	843.1	943.3	190.2
152	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	347.46	367.1	843.1	943.3	190.2
153	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	324.39	367.1	843.1	943.3	190.2
154	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	254.39	367.1	843.1	943.3	190.2
155	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	264.79	367.1	843.1	943.3	190.2
156	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	266.40	367.1	843.1	943.3	190.2
157	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	242.27	367.1	838.9	938.6	190.2
158	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	259.19	367.1	838.9	938.6	190.2
159	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	241.38	367.1	838.9	938.6	190.2
160	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	277.90	367.1	838.9	938.6	190.2
161	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	280.53	367.1	838.9	938.6	190.2
162	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	288.48	367.1	838.9	938.6	190.2
163	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	297.05	367.1	838.9	938.6	190.2
164	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	296.80	367.1	838.9	938.6	190.2
165	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	305.36	367.1	838.9	938.6	190.2
166	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	213.81	367.1	834.8	934	190.3
167	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	214.09	367.1	834.8	934	190.3

168	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	7.00	210.00	222.32	367.1	834.8	934	190.3
169	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	242.55	367.1	834.8	934	190.3
170	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	252.47	367.1	834.8	934	190.3
171	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	14.00	210.00	252.25	367.1	834.8	934	190.3
172	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	271.66	367.1	834.8	934	190.3
173	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	271.03	367.1	834.8	934	190.3
174	3/4	2.90	7.34	1692.00	1399.00	1862.00	1541.00	3.11	2.70	2.68	2.86	1.01	4.96	0.79	0.56	28.00	210.00	274.10	367.1	834.8	934	190.3
175	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	198.20	358.6	923.6	898.8	146.1
176	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	202.70	358.6	923.6	899.8	146.1
177	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	198.30	358.6	923.6	900.8	146.1
178	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	236.00	358.6	923.6	898.8	146.1
179	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	238.00	358.6	923.6	899.8	146.1
180	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	240.00	358.6	923.6	900.8	146.1
181	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	246.58	358.6	923.6	898.8	146.1
182	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	246.59	358.6	923.6	899.8	146.1
183	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	241.10	358.6	923.6	900.8	146.1
184	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	224.00	358.6	923.6	898.8	146.1
185	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	213.50	358.6	923.6	899.8	146.1
186	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	202.60	358.6	923.6	900.8	146.1
187	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	210.30	358.6	923.6	898.8	146.1
188	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	269.80	358.6	923.6	899.8	146.1
189	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	238.70	358.6	923.6	900.8	146.1
190	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	289.00	358.6	923.6	898.8	146.1
191	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	212.00	358.6	923.6	899.8	146.1
192	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	288.90	358.6	923.6	900.8	146.1
193	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	215.00	358.6	923.6	898.8	146.1
194	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	216.30	358.6	923.6	899.8	146.1
195	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	217.60	358.6	923.6	900.8	146.1
196	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	215.50	358.6	923.6	898.8	146.1
197	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	221.70	358.6	923.6	899.8	146.1
198	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	233.70	358.6	923.6	900.8	146.1
199	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	280.30	358.6	923.6	898.8	146.1
200	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	268.80	358.6	923.6	899.8	146.1
201	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	272.50	358.6	923.6	900.8	146.1
202	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	213.10	358.6	923.6	898.8	146.1
203	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	218.60	358.6	923.6	899.8	146.1
204	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	229.50	358.6	923.6	900.8	146.1
205	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	242.70	358.6	923.6	898.8	146.1
206	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	250.30	358.6	923.6	899.8	146.1
207	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	243.50	358.6	923.6	900.8	146.1
208	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	261.20	358.6	923.6	898.8	146.1
209	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	297.80	358.6	923.6	899.8	146.1
210	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	287.20	358.6	923.6	900.8	146.1
211	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	225.20	358.6	923.6	898.8	146.1

212	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	244.70	358.6	923.6	899.8	146.1
213	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	7.00	210.00	208.90	358.6	923.6	900.8	146.1
214	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	251.30	358.6	923.6	898.8	146.1
215	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	250.70	358.6	923.6	899.8	146.1
216	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	14.00	210.00	265.00	358.6	923.6	900.8	146.1
217	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	295.20	358.6	923.6	898.8	146.1
218	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	293.00	358.6	923.6	899.8	146.1
219	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.57	28.00	210.00	293.50	358.6	923.6	900.8	146.1
220	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	174.20	419.4	867.4	898.8	149.8
221	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	175.60	419.4	867.4	898.8	149.8
222	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	243.00	419.4	867.4	898.8	149.8
223	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	245.30	419.4	867.4	898.8	149.8
224	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	254.40	419.4	867.4	898.8	149.8
225	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	244.90	419.4	867.4	898.8	149.8
226	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	289.86	419.4	867.4	898.8	149.8
227	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	322.53	419.4	867.4	898.8	149.8
228	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	304.01	419.4	867.4	898.8	149.8
229	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	185.00	419.4	867.4	898.8	149.8
230	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	190.00	419.4	867.4	898.8	149.8
231	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	229.30	419.4	867.4	898.8	149.8
232	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	294.40	419.4	867.4	898.8	149.8
233	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	262.20	419.4	867.4	898.8	149.8
234	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	236.10	419.4	867.4	898.8	149.8
235	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	355.00	419.4	867.4	898.8	149.8
236	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	308.80	419.4	867.4	898.8	149.8
237	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	326.80	419.4	867.4	898.8	149.8
238	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	212.60	419.4	867.4	898.8	149.8
239	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	218.30	419.4	867.4	898.8	149.8
240	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	206.10	419.4	867.4	898.8	149.8
241	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	225.30	419.4	867.4	898.8	149.8
242	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	275.40	419.4	867.4	898.8	149.8
243	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	251.10	419.4	867.4	898.8	149.8
244	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	325.10	419.4	867.4	898.8	149.8
245	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	329.20	419.4	867.4	898.8	149.8
246	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	342.10	419.4	867.4	898.8	149.8
247	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	234.40	419.4	867.4	898.8	149.8
248	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	205.50	419.4	867.4	898.8	149.8
249	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	186.80	419.4	867.4	898.8	149.8
250	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	248.10	419.4	867.4	898.8	149.8
251	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	283.90	419.4	867.4	898.8	149.8
252	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	241.80	419.4	867.4	898.8	149.8
253	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	360.90	419.4	867.4	898.8	149.8
254	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	367.10	419.4	867.4	898.8	149.8
255	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	348.80	419.4	867.4	898.8	149.8
256	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	232.80	419.4	867.4	898.8	149.8

257	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	264.80	419.4	867.4	898.8	149.8
258	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	7.00	280.00	286.80	419.4	867.4	898.8	149.8
259	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	267.50	419.4	867.4	898.8	149.8
260	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	346.20	419.4	867.4	898.8	149.8
261	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	14.00	280.00	293.70	419.4	867.4	898.8	149.8
262	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	342.30	419.4	867.4	898.8	149.8
263	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	391.20	419.4	867.4	898.8	149.8
264	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.49	28.00	280.00	396.30	419.4	867.4	898.8	149.8
265	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	236.00	481.8	809.8	898.8	153.5
266	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	210.50	481.8	809.8	898.8	153.5
267	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	258.70	481.8	809.8	898.8	153.5
268	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	286.10	481.8	809.8	898.8	153.5
269	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	231.90	481.8	809.8	898.8	153.5
270	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	327.30	481.8	809.8	898.8	153.5
271	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	331.02	481.8	809.8	898.8	153.5
272	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	366.62	481.8	809.8	898.8	153.5
273	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	374.75	481.8	809.8	898.8	153.5
274	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	253.60	481.8	809.8	898.8	153.5
275	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	249.90	481.8	809.8	898.8	153.5
276	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	240.00	481.8	809.8	898.8	153.5
277	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	235.80	481.8	809.8	898.8	153.5
278	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	331.60	481.8	809.8	898.8	153.5
279	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	295.20	481.8	809.8	898.8	153.5
280	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	356.60	481.8	809.8	898.8	153.5
281	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	368.10	481.8	809.8	898.8	153.5
282	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	383.00	481.8	809.8	898.8	153.5
283	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	310.30	481.8	809.8	898.8	153.5
284	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	284.60	481.8	809.8	898.8	153.5
285	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	282.80	481.8	809.8	898.8	153.5
286	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	314.90	481.8	809.8	898.8	153.5
287	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	313.20	481.8	809.8	898.8	153.5
288	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	335.00	481.8	809.8	898.8	153.5
289	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	355.20	481.8	809.8	898.8	153.5
290	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	400.90	481.8	809.8	898.8	153.5
291	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	378.50	481.8	809.8	898.8	153.5
292	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	283.90	481.8	809.8	898.8	153.5
293	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	252.80	481.8	809.8	898.8	153.5
294	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	269.60	481.8	809.8	898.8	153.5
295	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	342.30	481.8	809.8	898.8	153.5
296	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	275.20	481.8	809.8	898.8	153.5
297	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	309.60	481.8	809.8	898.8	153.5
298	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	383.40	481.8	809.8	898.8	153.5
299	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	379.20	481.8	809.8	898.8	153.5
300	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	375.70	481.8	809.8	898.8	153.5
301	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	227.20	481.8	809.8	898.8	153.5
302	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	269.30	481.8	809.8	898.8	153.5
303	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	7.00	350.00	234.80	481.8	809.8	898.8	153.5
304	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	359.80	481.8	809.8	898.8	153.5
305	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	359.00	481.8	809.8	898.8	153.5
306	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	14.00	350.00	365.50	481.8	809.8	898.8	153.5
307	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	384.40	481.8	809.8	898.8	153.5
308	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	401.20	481.8	809.8	898.8	153.5

309	3/4	3.20	7.33	1551.00	1379.00	1695.00	1515.00	3.15	2.64	2.55	3.18	2.51	10.42	2.33	0.43	28.00	350.00	395.50	481.8	809.8	898.8	153.5
310	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	7.00	210.00	145.60	397.5	792.38	954.5	133.3
311	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	7.00	210.00	134.98	397.5	792.38	954.5	133.3
312	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	14.00	210.00	185.15	397.5	792.38	954.5	133.3
313	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	14.00	210.00	191.96	397.5	792.38	954.5	133.3
314	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	28.00	210.00	275.91	397.5	792.38	954.5	133.3
315	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	28.00	210.00	264.53	397.5	792.38	954.5	133.3
316	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	175.00	150.15	285	762	1092	187
317	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	175.00	145.21	285	762	1092	187
318	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	175.00	154.52	285	762	1092	187
319	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	175.00	187.09	285	762	1092	187
320	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	175.00	186.43	285	762	1092	187
321	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	175.00	178.05	285	762	1092	187
322	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	175.00	202.84	285	762	1092	187
323	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	175.00	203.74	285	762	1092	187
324	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	175.00	205.07	285	762	1092	187
325	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	175.00	206.90	285	762	1092	187
326	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	175.00	236.06	285	762	1092	187
327	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	175.00	227.81	285	762	1092	187
328	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	210.00	188.64	285	762	1092	187
329	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	210.00	223.53	285	762	1092	187
330	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	210.00	207.88	285	762	1092	187
331	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	210.00	245.53	285	762	1092	187
332	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	210.00	238.53	285	762	1092	187
333	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	210.00	233.37	285	762	1092	187
334	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	210.00	303.15	285	762	1092	187
335	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	210.00	265.87	285	762	1092	187
336	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	210.00	289.81	285	762	1092	187
337	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	210.00	323.56	285	762	1092	187
338	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	210.00	338.96	285	762	1092	187
339	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	210.00	336.36	285	762	1092	187
340	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	280.00	246.86	285	762	1092	187
341	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	280.00	279.68	285	762	1092	187
342	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	7.00	280.00	265.27	285	762	1092	187
343	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	280.00	301.13	285	762	1092	187
344	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	280.00	288.12	285	762	1092	187
345	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	14.00	280.00	302.03	285	762	1092	187
346	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	280.00	341.01	285	762	1092	187
347	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	280.00	331.13	285	762	1092	187
348	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	21.00	280.00	330.83	285	762	1092	187
349	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	280.00	354.60	285	762	1092	187
350	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	280.00	368.37	285	762	1092	187
351	1 1/2	3.17	8.69	1674.50	1447.81	1903.05	1572.80	3.15	2.53	2.56	2.54	1.67	1.67	2.09	0.65	28.00	280.00	364.83	285	762	1092	187
352	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	241.47	385.71	861.85	848.23	230.85
353	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	231.14	385.71	861.85	848.23	230.85
354	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	263.72	385.71	861.85	848.23	230.85
355	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	281.97	385.71	861.85	848.23	230.85
356	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	328.82	385.71	861.85	848.23	230.85
357	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	308.78	385.71	861.85	848.23	230.85
358	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	319.81	385.71	861.85	848.23	230.85

359	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	332.90	385.71	861.85	848.23	230.85
360	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	391.71	385.71	861.85	848.23	230.85
361	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	436.35	385.71	861.85	848.23	230.85
362	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	473.58	385.71	861.85	848.23	230.85
363	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	459.42	385.71	861.85	848.23	230.85
364	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	287.15	385.71	861.85	848.23	230.85
365	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	300.94	385.71	861.85	848.23	230.85
366	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	360.45	385.71	861.85	848.23	230.85
367	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	380.96	385.71	861.85	848.23	230.85
368	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	420.87	385.71	861.85	848.23	230.85
369	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	433.04	385.71	861.85	848.23	230.85
370	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	264.27	385.71	861.85	848.23	230.85
371	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	279.80	385.71	861.85	848.23	230.85
372	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	323.07	385.71	861.85	848.23	230.85
373	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	340.40	385.71	861.85	848.23	230.85
374	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	386.80	385.71	861.85	848.23	230.85
375	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	392.84	385.71	861.85	848.23	230.85
376	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	246.71	385.71	861.85	848.23	230.85
377	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	7.00	210.00	239.97	385.71	861.85	848.23	230.85
378	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	284.94	385.71	861.85	848.23	230.85
379	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	14.00	210.00	292.01	385.71	861.85	848.23	230.85
380	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	326.37	385.71	861.85	848.23	230.85
381	1/2	2.86	6.84	1669.20	1462.37	1812.44	1552.72	3.15	2.70	2.65	1.56	0.99	0.39	0.42	0.56	28.00	210.00	313.33	385.71	861.85	848.23	230.85
382	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	7.00	210.00	145.60	397.5	792.38	954.5	133.3
383	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	7.00	210.00	134.98	397.5	792.38	954.5	133.3
384	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	14.00	210.00	185.15	397.5	792.38	954.5	133.3
385	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	14.00	210.00	191.96	397.5	792.38	954.5	133.3
386	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	28.00	210.00	275.91	397.5	792.38	954.5	133.3
387	3/4	3.07	6.88	1270.00	1327.00	1572.00	1541.00	3.15	2.50	2.51	1.07	0.10	4.26	4.76	0.56	28.00	210.00	264.53	397.5	792.38	954.5	133.3
388	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	7.00	210.00	298.60	372.7	873.1	921.2	203.1
389	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	7.00	210.00	286.90	372.7	873.1	921.2	203.1
390	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	7.00	210.00	236.80	372.7	873.1	921.2	203.1
391	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	14.00	210.00	351.60	372.7	873.1	921.2	203.1
392	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	14.00	210.00	351.70	372.7	873.1	921.2	203.1
393	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	14.00	210.00	351.30	372.7	873.1	921.2	203.1
394	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	28.00	210.00	465.40	372.7	873.1	921.2	203.1
395	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	28.00	210.00	466.80	372.7	873.1	921.2	203.1
396	3/4	3.21	7.42	1710.00	1418.00	1782.00	1530.00	3.11	2.71	2.60	3.81	2.53	2.60	3.90	0.55	28.00	210.00	466.10	372.7	873.1	921.2	203.1
397	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	275.00	377.8	959.4	876	210.6
398	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	230.00	377.8	959.4	876	210.6
399	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	254.60	377.8	959.4	876	210.6
400	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	366.50	377.8	959.4	876	210.6
401	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	336.00	377.8	959.4	876	210.6
402	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	336.40	377.8	959.4	876	210.6
403	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	360.70	377.8	959.4	876	210.6
404	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	363.90	377.8	959.4	876	210.6
405	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	360.50	377.8	959.4	876	210.6
406	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	179.70	377.8	959.4	876	210.6
407	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	195.90	377.8	959.4	876	210.6
408	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	230.00	377.8	959.4	876	210.6

409	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	356.90	377.8	959.4	876	210.6
410	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	366.20	377.8	959.4	876	210.6
411	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	334.70	377.8	959.4	876	210.6
412	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	363.60	377.8	959.4	876	210.6
413	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	364.30	377.8	959.4	876	210.6
414	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	372.60	377.8	959.4	876	210.6
415	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	166.10	377.8	959.4	876	210.6
416	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	218.00	377.8	959.4	876	210.6
417	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	250.00	377.8	959.4	876	210.6
418	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	356.50	377.8	959.4	876	210.6
419	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	363.20	377.8	959.4	876	210.6
420	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	362.90	377.8	959.4	876	210.6
421	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	363.90	377.8	959.4	876	210.6
422	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	363.30	377.8	959.4	876	210.6
423	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	375.80	377.8	959.4	876	210.6
424	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	232.00	377.8	959.4	876	210.6
425	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	245.00	377.8	959.4	876	210.6
426	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	171.00	377.8	959.4	876	210.6
427	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	328.00	377.8	959.4	876	210.6
428	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	318.00	377.8	959.4	876	210.6
429	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	314.00	377.8	959.4	876	210.6
430	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	360.80	377.8	959.4	876	210.6
431	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	366.50	377.8	959.4	876	210.6
432	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	353.00	377.8	959.4	876	210.6
433	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	150.00	377.8	959.4	876	210.6
434	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	268.00	377.8	959.4	876	210.6
435	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	7.00	210.00	133.10	377.8	959.4	876	210.6
436	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	315.00	377.8	959.4	876	210.6
437	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	294.00	377.8	959.4	876	210.6
438	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	14.00	210.00	330.70	377.8	959.4	876	210.6
439	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	338.30	377.8	959.4	876	210.6
440	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	359.10	377.8	959.4	876	210.6
441	3/4	3.15	6.92	1741.00	1476.00	1817.00	1593.00	3.11	2.58	2.49	2.47	4.04	5.86	1.12	0.57	28.00	210.00	353.20	377.8	959.4	876	210.6
442	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	252.00	399.4	883.4	814.4	247.4
443	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	234.00	399.4	883.4	814.4	247.4
444	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	268.00	399.4	883.4	814.4	247.4
445	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	288.00	399.4	883.4	814.4	247.4
446	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	342.00	399.4	883.4	814.4	247.4
447	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	326.00	399.4	883.4	814.4	247.4
448	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	208.00	399.4	883.4	814.4	247.4
449	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	223.00	399.4	883.4	814.4	247.4
450	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	236.00	399.4	883.4	814.4	247.4
451	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	247.00	399.4	883.4	814.4	247.4
452	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.05	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	253.00	399.4	883.4	814.4	247.4
453	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	247.00	399.4	887.5	818.2	247.5
454	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	235.00	399.4	887.5	818.2	247.5
455	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	7.00	210.00	249.00	399.4	887.5	818.2	247.5
456	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	291.00	399.4	887.5	818.2	247.5
457	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	14.00	210.00	275.00	399.4	887.5	818.2	247.5
458	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	338.00	399.4	887.5	818.2	247.5

459	3/4	3.48	6.95	1470.00	1340.00	1720.00	1480.00	3.12	2.66	2.65	4.70	2.30	3.00	1.10	0.56	28.00	210.00	330.00	399.4	887.5	818.2	247.5
460	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	309.15	328.881	769.533	925.504	206.54
461	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	345.08	328.881	769.533	925.504	206.54
462	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	310.67	328.881	769.533	925.504	206.54
463	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	289.59	328.881	769.533	925.504	206.54
464	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	274.74	328.881	769.533	925.504	206.54
465	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	282.54	328.881	769.533	925.504	206.54
466	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	268.52	328.881	769.533	925.504	206.54
467	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	299.92	328.881	769.533	925.504	206.54
468	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	237.82	328.881	769.533	925.504	206.54
469	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	246.19	328.881	769.533	925.504	206.54
470	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	283.72	328.881	769.533	925.504	206.54
471	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	285.43	328.881	769.533	925.504	206.54
472	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	182.92	328.881	769.533	925.504	206.54
473	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	151.72	328.881	769.533	925.504	206.54
474	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	161.72	328.881	769.533	925.504	206.54
475	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	190.86	328.881	769.533	925.504	206.54
476	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	250.15	328.881	769.533	925.504	206.54
477	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	292.79	328.881	769.533	925.504	206.54
478	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	335.41	328.881	769.533	925.504	206.54
479	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	302.77	328.881	769.533	925.504	206.54
480	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	226.02	328.881	769.533	925.504	206.54
481	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	292.30	328.881	769.533	925.504	206.54
482	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	294.45	328.881	769.533	925.504	206.54
483	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	277.81	328.881	769.533	925.504	206.54
484	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	198.94	328.881	769.533	925.504	206.54
485	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	255.08	328.881	769.533	925.504	206.54
486	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	294.77	328.881	769.533	925.504	206.54
487	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	263.35	328.881	769.533	925.504	206.54
488	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	182.85	328.881	769.533	925.504	206.54
489	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	175.54	328.881	769.533	925.504	206.54
490	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	159.63	328.881	769.533	925.504	206.54
491	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	160.46	328.881	769.533	925.504	206.54
492	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	219.40	328.881	769.533	925.504	206.54
493	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	289.19	328.881	769.533	925.504	206.54
494	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	289.51	328.881	769.533	925.504	206.54
495	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	261.55	328.881	769.533	925.504	206.54
496	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	245.49	328.881	769.533	925.504	206.54
497	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	217.59	328.881	769.533	925.504	206.54
498	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	307.18	328.881	769.533	925.504	206.54
499	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	268.45	328.881	769.533	925.504	206.54
500	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	227.78	328.881	769.533	925.504	206.54
501	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	213.56	328.881	769.533	925.504	206.54
502	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	253.27	328.881	769.533	925.504	206.54
503	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	206.83	328.881	769.533	925.504	206.54
504	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	169.61	328.881	769.533	925.504	206.54
505	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	169.72	328.881	769.533	925.504	206.54
506	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	157.22	328.881	769.533	925.504	206.54
507	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	167.18	328.881	769.533	925.504	206.54
508	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	240.79	328.881	769.533	925.504	206.54

509	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	306.72	328.881	769.533	925.504	206.54
510	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	308.16	328.881	769.533	925.504	206.54
511	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	246.17	328.881	769.533	925.504	206.54
512	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	263.72	328.881	769.533	925.504	206.54
513	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	241.15	328.881	769.533	925.504	206.54
514	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	256.30	328.881	769.533	925.504	206.54
515	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	273.91	328.881	769.533	925.504	206.54
516	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	217.54	328.881	769.533	925.504	206.54
517	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	207.55	328.881	769.533	925.504	206.54
518	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	273.06	328.881	769.533	925.504	206.54
519	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	188.10	328.881	769.533	925.504	206.54
520	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	172.51	328.881	769.533	925.504	206.54
521	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	189.67	328.881	769.533	925.504	206.54
522	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	168.46	328.881	769.533	925.504	206.54
523	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	160.38	328.881	769.533	925.504	206.54
524	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	217.36	328.881	769.533	925.504	206.54
525	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	234.36	328.881	769.533	925.504	206.54
526	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	242.35	328.881	769.533	925.504	206.54
527	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	28.00	175.00	222.04	328.881	769.533	925.504	206.54
528	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	193.34	328.881	769.533	925.504	206.54
529	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	197.88	328.881	769.533	925.504	206.54
530	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	213.80	328.881	769.533	925.504	206.54
531	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	21.00	175.00	217.97	328.881	769.533	925.504	206.54
532	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	144.15	328.881	769.533	925.504	206.54
533	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	187.45	328.881	769.533	925.504	206.54
534	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	194.03	328.881	769.533	925.504	206.54
535	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	14.00	175.00	182.55	328.881	769.533	925.504	206.54
536	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	165.88	328.881	769.533	925.504	206.54
537	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	147.09	328.881	769.533	925.504	206.54
538	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	166.62	328.881	769.533	925.504	206.54
539	3/4	2.73	7.18	1607.00	1386.00	1739.00	1460.00	3.15	2.37	2.60	1.80	1.18	1.69	1.10	0.63	7.00	175.00	188.59	328.881	769.533	925.504	206.54
540	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	164.14	352	763	1007	191
541	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	142.77	352	763	1007	191
542	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	162.10	352	763	1007	191
543	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	148.30	352	763	1007	191
544	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	167.91	352	763	1007	191
545	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	177.70	352	763	1007	191
546	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	175.57	352	763	1007	191
547	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	200.46	352	763	1007	191
548	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	231.21	352	763	1007	191
549	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	236.93	352	763	1007	191
550	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	234.23	352	763	1007	191
551	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	232.70	352	763	1007	191
552	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	190.65	352	763	1007	191
553	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	186.01	352	763	1007	191
554	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	189.98	352	763	1007	191
555	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	224.75	352	763	1007	191
556	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	224.75	352	763	1007	191
557	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	219.81	352	763	1007	191
558	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	222.41	352	763	1007	191

559	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	252.16	352	763	1007	191
560	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	237.44	352	763	1007	191
561	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	240.07	352	763	1007	191
562	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	233.04	352	763	1007	191
563	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	242.70	352	763	1007	191
564	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	203.18	352	763	1007	191
565	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	198.90	352	763	1007	191
566	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	3.00	210.00	221.15	352	763	1007	191
567	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	260.69	352	763	1007	191
568	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	254.65	352	763	1007	191
569	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	7.00	210.00	240.71	352	763	1007	191
570	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	271.16	352	763	1007	191
571	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	251.28	352	763	1007	191
572	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	14.00	210.00	240.88	352	763	1007	191
573	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	268.49	352	763	1007	191
574	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	268.70	352	763	1007	191
575	1	3.28	8.35	1637.21	1483.49	1844.43	1614.78	3.15	2.56	2.57	1.83	1.53	3.81	0.63	0.56	28.00	210.00	265.89	352	763	1007	191
576	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	7.00	175.00	217.50	455.6	870.3	873	179
577	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	7.00	175.00	205.80	410	911.3	873	177.9
578	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.49	7.00	175.00	215.70	419.4	902.8	873	178.1
579	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.53	14.00	175.00	261.90	388.4	930.8	873	177.4
580	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.57	14.00	175.00	235.40	358.6	957.7	873	176.7
581	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.64	14.00	175.00	258.50	319.6	992.8	873	175.8
582	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.70	28.00	175.00	320.70	294.1	1015.8	873	175.2
583	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	28.00	175.00	315.40	455.6	762.8	975	181.3
584	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	28.00	175.00	327.80	410	821.8	957.9	179.8
585	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	7.00	175.00	228.60	455.6	870.3	873	179
586	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	7.00	175.00	222.10	410	911.3	873	177.9
587	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.49	7.00	175.00	226.50	419.4	902.8	873	178.1
588	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.53	14.00	175.00	294.50	388.4	930.8	873	177.4
589	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.57	14.00	175.00	281.50	358.6	957.7	873	176.7
590	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.64	14.00	175.00	244.50	319.6	992.8	873	175.8
591	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.70	28.00	175.00	336.80	294.1	1015.8	873	175.2
592	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	28.00	175.00	339.40	455.6	762.8	975	181.3
593	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	28.00	175.00	333.40	410	821.8	957.9	179.8
594	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	7.00	175.00	217.40	455.6	870.3	873	179
595	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	7.00	175.00	231.70	410	911.3	873	177.9
596	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.49	7.00	175.00	186.00	419.4	902.8	873	178.1
597	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.53	14.00	175.00	230.10	388.4	930.8	873	177.4
598	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.57	14.00	175.00	241.30	358.6	957.7	873	176.7
599	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.64	14.00	175.00	226.00	319.6	992.8	873	175.8
600	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.70	28.00	175.00	293.40	294.1	1015.8	873	175.2
601	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	28.00	175.00	290.90	455.6	762.8	975	181.3
602	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	28.00	175.00	288.90	410	821.8	957.9	179.8
603	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	7.00	175.00	196.60	455.6	870.3	873	179
604	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	7.00	175.00	214.90	410	911.3	873	177.9
605	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.49	7.00	175.00	218.10	419.4	902.8	873	178.1
606	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.53	14.00	175.00	229.40	388.4	930.8	873	177.4
607	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.57	14.00	175.00	223.60	358.6	957.7	873	176.7
608	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.64	14.00	175.00	220.20	319.6	992.8	873	175.8

609	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.70	28.00	175.00	270.40	294.1	1015.8	873	175.2
610	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.45	28.00	175.00	282.90	455.6	762.8	975	181.3
611	3/4	3.26	6.85	1528.00	1348.00	1650.00	1475.00	3.15	2.59	2.51	2.58	2.63	5.27	3.08	0.50	28.00	175.00	295.60	410	821.8	957.9	179.8
612	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	145.40	277	978	826	187
613	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	149.50	277	978	826	187
614	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	131.80	277	978	826	187
615	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	168.80	277	978	826	187
616	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	171.10	277	978	826	187
617	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	172.50	277	978	826	187
618	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	172.80	277	978	826	187
619	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	181.00	277	978	826	187
620	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	185.10	277	978	826	187
621	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	194.60	277	978	826	187
622	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	196.20	277	978	826	187
623	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	191.20	277	978	826	187
624	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	168.40	277	978	826	187
625	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	157.70	277	978	826	187
626	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	7.00	175.00	166.50	277	978	826	187
627	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	187.20	277	978	826	187
628	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	199.60	277	978	826	187
629	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	14.00	175.00	187.90	277	978	826	187
630	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	211.60	277	978	826	187
631	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	214.40	277	978	826	187
632	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	21.00	175.00	206.70	277	978	826	187
633	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	220.40	277	978	826	187
634	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	232.90	277	978	826	187
635	3/4	3.42	7.37	1564.60	1267.20	1599.67	1423.61	3.11	2.51	2.51	3.92	3.43	5.78	3.59	0.74	28.00	175.00	227.00	277	978	826	187
636	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	230.90	358.6	705.2	993.1	230.6
637	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	246.50	358.6	705.2	993.1	230.6
638	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	228.00	358.6	705.2	993.1	230.6
639	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	345.50	358.6	705.2	993.1	230.6
640	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	340.10	358.6	705.2	993.1	230.6
641	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	341.10	358.6	705.2	993.1	230.6
642	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	461.90	358.6	705.2	993.1	230.6
643	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	452.80	358.6	705.2	993.1	230.6
644	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	454.20	358.6	705.2	993.1	230.6
645	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	210.00	358.6	705.2	993.1	230.6
646	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	215.50	358.6	705.2	993.1	230.6
647	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	202.30	358.6	705.2	993.1	230.6
648	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	313.30	358.6	705.2	993.1	230.6
649	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	318.90	358.6	705.2	993.1	230.6
650	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	303.80	358.6	705.2	993.1	230.6
651	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	416.70	358.6	705.2	993.1	230.6
652	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	425.80	358.6	705.2	993.1	230.6
653	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	405.70	358.6	705.2	993.1	230.6
654	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	160.30	358.6	705.2	993.1	230.6
655	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	164.20	358.6	705.2	993.1	230.6
656	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	158.10	358.6	705.2	993.1	230.6
657	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	241.40	358.6	705.2	993.1	230.6
658	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	246.00	358.6	705.2	993.1	230.6

659	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	236.50	358.6	705.2	993.1	230.6
660	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	323.10	358.6	705.2	993.1	230.6
661	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	328.40	358.6	705.2	993.1	230.6
662	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	315.00	358.6	705.2	993.1	230.6
663	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	144.70	358.6	705.2	993.1	230.6
664	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	142.60	358.6	705.2	993.1	230.6
665	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	14.00	210.00	147.70	358.6	705.2	993.1	230.6
666	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	217.60	358.6	705.2	993.1	230.6
667	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	215.00	358.6	705.2	993.1	230.6
668	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	21.00	210.00	222.10	358.6	705.2	993.1	230.6
669	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	289.70	358.6	705.2	993.1	230.6
670	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	286.30	358.6	705.2	993.1	230.6
671	3/4	2.58	7.05	1625.00	1434.00	1742.00	1538.00	3.15	2.59	2.63	3.17	1.81	1.21	0.61	0.57	28.00	210.00	294.90	358.6	705.2	993.1	230.6
672	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	7.00	210.00	175.08	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
673	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	7.00	210.00	181.59	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
674	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	7.00	210.00	168.66	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
675	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	14.00	210.00	187.36	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
676	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	14.00	210.00	187.80	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
677	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	14.00	210.00	188.19	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
678	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	28.00	210.00	263.05	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
679	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	28.00	210.00	258.34	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
680	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.56	28.00	210.00	263.57	367.1203	850.03538	846.23574	206.44
681	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	7.00	175.00	144.17	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
682	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	7.00	175.00	155.66	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
683	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	7.00	175.00	140.40	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
684	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	14.00	175.00	176.25	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
685	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	14.00	175.00	178.53	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
686	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	14.00	175.00	175.28	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
687	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	28.00	175.00	183.54	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
688	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	28.00	175.00	198.35	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
689	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.63	28.00	175.00	184.96	326.4331	884.10736	846.23574	206.18
690	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	7.00	140.00	116.46	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
691	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	7.00	140.00	108.27	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
692	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	7.00	140.00	117.57	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
693	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	14.00	140.00	129.74	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
694	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	14.00	140.00	123.89	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
695	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	14.00	140.00	128.51	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
696	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	28.00	140.00	184.77	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
697	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	28.00	140.00	169.15	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
698	3/4	3.53	7.08	1654.80	1473.80	1752.10	1536.60	3.15	2.57	2.50	1.85	1.64	2.65	0.68	0.68	28.00	140.00	172.13	299.7076	906.48763	846.23574	206.01
699	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.56	7.00	210.00	169.73	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
700	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	1.56	7.00	210.00	166.86	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
701	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	2.56	7.00	210.00	170.30	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
702	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	3.56	14.00	210.00	190.02	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
703	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	4.56	14.00	210.00	181.39	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
704	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	5.56	14.00	210.00	187.60	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
705	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	6.56	28.00	210.00	268.44	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
706	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	7.56	28.00	210.00	275.34	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
707	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	8.56	28.00	210.00	261.89	367.1203	837.57831	879.53611	202.9
708	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	7.00	175.00	145.31	326.4331	871.82522	879.53611	202.41

709	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	7.00	175.00	134.34	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
710	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	7.00	175.00	132.92	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
711	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	14.00	175.00	163.25	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
712	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	14.00	175.00	168.87	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
713	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	14.00	175.00	163.58	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
714	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	28.00	175.00	244.87	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
715	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	28.00	175.00	245.64	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
716	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.63	28.00	175.00	247.24	326.4331	871.82522	879.53611	202.41
717	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	7.00	140.00	111.29	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
718	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	7.00	140.00	116.32	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
719	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	7.00	140.00	106.46	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
720	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	14.00	140.00	126.18	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
721	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	14.00	140.00	131.78	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
722	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	14.00	140.00	123.78	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
723	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	28.00	140.00	192.27	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
724	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	28.00	140.00	182.79	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
725	3/4	3.17	7.23	1598.90	1418.40	1733.30	1498.30	3.15	2.56	2.55	2.10	1.81	3.57	0.69	0.68	28.00	140.00	198.40	299.7076	894.32041	879.53611	202.09
726	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.56	7.00	210.00	170.91	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
727	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	1.56	7.00	210.00	177.11	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
728	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	2.56	7.00	210.00	177.54	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
729	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	3.56	14.00	210.00	199.07	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
730	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	4.56	14.00	210.00	200.88	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
731	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	5.56	14.00	210.00	192.03	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
732	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	6.56	28.00	210.00	256.37	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
733	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	7.56	28.00	210.00	265.70	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
734	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	8.56	28.00	210.00	263.81	367.1203	843.04907	847.21138	216.64
735	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	7.00	175.00	141.59	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
736	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	7.00	175.00	140.14	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
737	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	7.00	175.00	139.40	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
738	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	14.00	175.00	164.04	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
739	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	14.00	175.00	169.66	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
740	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	14.00	175.00	157.68	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
741	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	28.00	175.00	261.34	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
742	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	28.00	175.00	255.03	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
743	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.63	28.00	175.00	244.85	326.4331	876.55927	847.21138	216.65
744	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	7.00	140.00	108.66	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
745	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	7.00	140.00	113.79	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
746	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	7.00	140.00	109.55	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
747	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	14.00	140.00	126.60	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
748	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	14.00	140.00	132.47	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
749	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	14.00	140.00	130.58	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
750	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	28.00	140.00	194.14	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
751	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	28.00	140.00	184.13	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
752	3/4	3.40	7.35	1655.80	1410.90	1803.50	1506.70	3.15	2.54	2.53	2.15	1.78	2.14	0.41	0.68	28.00	140.00	191.34	299.7076	898.57055	847.21138	216.65
753	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	7.00	210.00	159.35	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
754	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	7.00	210.00	151.90	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
755	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	7.00	210.00	154.12	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
756	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	14.00	210.00	187.45	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
757	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	14.00	210.00	181.10	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
758	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	14.00	210.00	194.74	386.8195	889.37699	702.92981	242.58

759	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	28.00	210.00	301.81	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
760	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	28.00	210.00	293.57	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
761	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.56	28.00	210.00	339.10	386.8195	889.37699	702.92981	242.58
762	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	7.00	175.00	134.91	343.949	923.32883	702.92981	243.15
763	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	7.00	175.00	141.78	343.949	923.32883	702.92981	243.15
764	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	7.00	175.00	143.89	343.949	923.32883	702.92981	243.15
765	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	14.00	175.00	159.57	343.949	923.32883	702.92981	243.15
766	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	14.00	175.00	159.91	343.949	923.32883	702.92981	243.15
767	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	14.00	175.00	155.82	343.949	923.32883	702.92981	243.15
768	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	28.00	175.00	245.05	343.949	923.32883	702.92981	243.15
769	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	28.00	175.00	234.67	343.949	923.32883	702.92981	243.15
770	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.63	28.00	175.00	273.03	343.949	923.32883	702.92981	243.15
771	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	7.00	140.00	100.93	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
772	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	7.00	140.00	98.38	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
773	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	7.00	140.00	102.82	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
774	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	14.00	140.00	119.61	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
775	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	14.00	140.00	124.95	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
776	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	14.00	140.00	122.35	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
777	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	28.00	140.00	151.27	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
778	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	28.00	140.00	146.03	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
779	1/2	3.63	6.80	1561.00	1394.10	1691.30	1485.30	3.15	2.46	2.48	3.12	3.01	1.41	1.34	0.68	28.00	140.00	173.76	315.7895	945.63019	702.92981	243.53
780	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	7.00	210.00	150.44	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
781	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	7.00	210.00	153.86	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
782	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	7.00	210.00	157.19	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
783	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	14.00	210.00	190.95	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
784	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	14.00	210.00	195.34	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
785	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	14.00	210.00	202.20	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
786	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	28.00	210.00	241.79	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
787	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	28.00	210.00	256.05	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
788	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.56	28.00	210.00	245.95	386.8195	954.32614	666.34757	232.92
789	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	7.00	175.00	126.62	343.949	988.99538	666.34757	233.21
790	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	7.00	175.00	134.97	343.949	988.99538	666.34757	233.21
791	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	7.00	175.00	140.33	343.949	988.99538	666.34757	233.21
792	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	14.00	175.00	150.20	343.949	988.99538	666.34757	233.21
793	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	14.00	175.00	149.97	343.949	988.99538	666.34757	233.21
794	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	14.00	175.00	152.95	343.949	988.99538	666.34757	233.21
795	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	28.00	175.00	180.62	343.949	988.99538	666.34757	233.21
796	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	28.00	175.00	232.07	343.949	988.99538	666.34757	233.21
797	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.63	28.00	175.00	233.85	343.949	988.99538	666.34757	233.21
798	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	7.00	140.00	111.71	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
799	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	7.00	140.00	106.29	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
800	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	7.00	140.00	117.25	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
801	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	14.00	140.00	127.90	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
802	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	14.00	140.00	132.69	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
803	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	14.00	140.00	126.84	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
804	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	28.00	140.00	228.92	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
805	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	28.00	140.00	218.99	315.7895	1011.768	666.34757	233.41
806	1/2	3.89	6.79	1566.20	1419.00	1718.70	1494.70	3.15	2.52	2.52	2.35	2.43	1.49	1.09	0.68	28.00	140.00	215.35	315.7895	1011.768	666.34757	233.41

F2. Fuentes de datos empleadas en la conformación de la base de datos

N°	Título completo de la tesis o investigación / Fuente de datos
1	Análisis comparativo de las ventajas económicas y técnicas del curado con aditivo y curado tradicional para concretos F'C = 175 KG/CM2, Carmen Alto - Huamanga - Ayacucho - 2022
2	Comportamiento del esfuerzo de compresión del concreto f´c = 210 kg/cm2 con incorporación de virutas de metal, Ayacucho - 2024
3	Influencia de la adición de ceniza volante al 5% y ceniza de cabuya al 2%, 4% y 6% en las propiedades físicas y la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2, Ayacucho - 2024
4	Influencia de la Adición de Fibras de Bambú en el Comportamiento Físico Mecánico del Concreto F'c=210 Kg/Cm² con Cemento Puzolánico Tipo IP para Pavimentos Rígidos de Mediano Tránsito, Ayacucho - 2024
5	Diseño de pavimento rígido empleando concreto f'c = 210 kg/cm2 con adición parcial de cenizas del tallo de algarrobo, Jr. Las Dalias del distrito de San Juan Bautista, Ayacucho - 2023
6	Influencia de la adición de fibras de coco en el concreto convencional F'C = 210kg/cm2 con fines de pavimento rígido, Ayacucho - 2021
7	Comportamiento mecánico de pavimentos semirrígidos con adoquines de concreto y PET reciclado para tránsito pesado, Ayacucho - 2023
8	Utilización de la fibra de polipropileno Sika Fibermesh150 para mejorar las propiedades mecánicas del concreto f'c = 210, 280 y 350 kg/cm2, distrito Jesús Nazareno - Ayacucho - 2022
9	Influencia en las propiedades físico-mecánicas de un concreto tradicional con adición parcial de penca de Pitahaya – Ayacucho - 2022
10	Análisis de la resistencia del concreto f´c = 210kg/cm2 usando tres tipos de cemento con agregado de Cantera Rio Cachi–Chillico para edificaciones, Ayacucho - 2023
11	Influencia del vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y la capacidad de uso en la Ciudad de Ayacucho - 2023
12	Influencia de la adición de la fibra de agave sisalana en la resistencia mecánica del concreto para pavimentos rígidos, Ayacucho - 2023
13	Influencia del agregado grueso provenientes de elemento estructurales en la elaboración del concreto f'c = 210 kg/cm², Ayacucho - 2020
14	Análisis del concreto para pavimento rígido utilizando agregados RCD (residuos de construcción y demolición), Ayacucho - 2021
15	Laboratorios de empresas constructoras locales

Anexo G

G. Herramienta Matlab

G.1. Herramientas en MATLAB: NeuroMAT Toolbox v1.0

La NeuroMAT Toolbox v1.0 es una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB para facilitar el diseño, entrenamiento y validación de redes neuronales artificiales. Esta herramienta ofrece una amplia variedad de configuraciones, algoritmos de aprendizaje y funciones de transferencia, lo que la hace ideal para aplicaciones de regresión, clasificación y predicción. A continuación, se describen las principales características y funcionalidades de esta herramienta.

G. 2. Configuración de la Red Neuronal

La herramienta permite configurar una red neuronal multicapa con las siguientes opciones:

1. **Tipo de Red:**
    - Soporta varios tipos de redes neuronales, como:
        - *Feed-forward backprop:* Redes feedforward con retropropagación.
        - *Cascade-forward backprop:* Redes con conexiones hacia adelante en cascada.
        - *Elman backprop:* Redes recurrentes de Elman.
        - *Hopfield:* Redes de Hopfield para memorias asociativas.
        - *Kohonen SOM:* Mapas auto-organizados de Kohonen.
        - LVQ: Aprendizaje por cuantización vectorial.
        - *Radial Basis Function (RBF):* Redes de funciones de base radial.
        - *Recurrent Neural Network (RNN):* Redes neuronales recurrentes.
        - *Time Delay Neural Network (TDNN):* Redes con retardos de tiempo.
2. **Número de Capas Ocultas:**
    - El usuario puede especificar el número de capas ocultas y el número de neuronas en cada capa.
3. **Funciones de Transferencia:**
    - Las funciones de transferencia disponibles incluyen:
        - *tansig:* Tangente hiperbólica.
        - *logsig:* Sigmoide logística.
        - *purelin:* Función lineal.
        - *softmax:* Función softmax para clasificación.
4. **Algoritmos de Entrenamiento:**

- La herramienta soporta varios algoritmos de entrenamiento, entre los cuales se encuentran:
  - *trainlm:* Levenberg-Marquardt (por defecto).
  - *trainbr:* Regularización Bayesiana.
  - *trainbfg:* Quasi-Newton BFGS.
  - *trainrp:* Resilient Backpropagation (RPROP).
  - *traingda:* Gradiente descendente con tasa de aprendizaje adaptativa.
  - *traingdm:* Gradiente descendente con momentum.
  - *traingdx:* Gradiente descendente con momentum y tasa de aprendizaje adaptativa.
- **Descripción de los Algoritmos de Entrenamiento:**

  La NeuroMAT Toolbox v1.0 ofrece una variedad de algoritmos de entrenamiento para redes neuronales backpropagation, cada uno con características y parámetros configurables que permiten adaptar el proceso de aprendizaje a las necesidades específicas de la aplicación. A continuación, se describen los principales algoritmos disponibles:

➢ trainlm **(Levenberg-Marquardt)**
  - **Descripción:** Es el algoritmo más rápido y eficiente para redes neuronales de tamaño pequeño o mediano. Utiliza una combinación de métodos de gradiente y aproximación de la matriz Hessiana para acelerar la convergencia.
  - **Parámetros Configurables:**
    - *net.trainParam.epochs:* Número máximo de iteraciones para obtener convergencia.
    - *net.trainParam.goal:* Error máximo permitido.
    - *net.trainParam.mu:* Factor de regularización adaptativo.
    - *net.trainParam.show:* Intervalo de visualización de los resultados.
    - *net.trainParam.time:* Tiempo máximo de entrenamiento en segundos.
  - **Ventajas:** Convergencia rápida y precisa.
  - **Desventajas:** Requiere más memoria y es menos eficiente para redes muy grandes.

➢ trainrp **(Resilient Backpropagation - RPROP)**
  - **Descripción:** Este algoritmo utiliza solo el signo del gradiente para actualizar los pesos, lo que lo hace robusto y eficiente. Es ideal para redes

con funciones de transferencia sigmoidales, donde el gradiente puede volverse muy pequeño.

- **Parámetros Configurables:**
  - *net.trainParam.delt_inc:* Incremento en la actualización de pesos cuando el gradiente mantiene su dirección.
  - *net.trainParam.delt_dec:* Decremento en la actualización de pesos cuando el gradiente cambia de dirección.
  - *net.trainParam.delta0:* Incremento inicial en la actualización de pesos.
  - *net.trainParam.deltamax:* Máximo cambio permitido en los pesos.
- **Ventajas:** No depende de la magnitud del gradiente, lo que evita problemas de convergencia lenta.
- **Desventajas:** Puede requerir más iteraciones para converger en comparación con trainlm.

➢ traingda **(Gradiente Descendente con Tasa de Aprendizaje Adaptativa)**

- **Descripción**: Este algoritmo ajusta la tasa de aprendizaje durante el entrenamiento, incrementándola cuando el error disminuye y decrementándola cuando el error aumenta. Es útil para evitar oscilaciones y mejorar la estabilidad del entrenamiento.
- **Parámetros Configurables**:
  - *net.trainParam.lr:* Tasa de aprendizaje inicial.
  - *net.trainParam.lr_inc:* Porcentaje de incremento de la tasa de aprendizaje cuando el error disminuye.
  - *net.trainParam.lr_dec:* Porcentaje de decremento de la tasa de aprendizaje cuando el error aumenta.
  - *net.trainParam.max_perf_inc:* Máximo incremento permitido en el rendimiento.
- **Ventajas**: Adaptabilidad a cambios en el error durante el entrenamiento.
- **Desventajas**: Puede ser lento en redes con muchas capas o neuronas.

➢ traingdm **(Gradiente Descendente con Momentum)**

- **Descripción**: Este algoritmo incluye un término de momentum que acelera el entrenamiento y reduce las oscilaciones en la actualización de los pesos. Es útil para problemas con superficies de error irregulares.
- **Parámetros Configurables**:
  - *net.trainParam.mc:* Coeficiente de momentum (por defecto: 0.9).
  - *net.trainParam.lr:* Tasa de aprendizaje.

        - *net.trainParam.max_fail:* Número máximo de fallas permitidas antes de detener el entrenamiento.
    - **Ventajas**: Acelera el entrenamiento y reduce oscilaciones.
    - **Desventajas**: Puede divergir si la tasa de aprendizaje es demasiado alta.
- trainbfg **(Quasi-Newton BFGS)**
    - **Descripción**: Este algoritmo utiliza una aproximación de la matriz Hessiana para acelerar la convergencia. Es una alternativa eficiente al método de Newton, ya que no requiere calcular las segundas derivadas.
    - **Parámetros Configurables:**
        - *net.trainParam.searchFcn:* Rutina de búsqueda lineal (por ejemplo, srchcha).
        - *net.trainParam.scal_tol:* Tolerancia para la búsqueda lineal.
        - *net.trainParam.alpha:* Factor de escala para determinar una reducción suficiente en el rendimiento.
    - **Ventajas**: Convergencia rápida en redes de tamaño moderado.
    - **Desventajas**: Requiere más memoria y no es adecuado para redes muy grandes.
- trainbr **(Regularización Bayesiana)**
    - **Descripción**: Este algoritmo minimiza una combinación del error cuadrático y la magnitud de los pesos, lo que ayuda a evitar el sobreajuste. Es ideal para problemas con datos ruidosos o limitados.
    - **Parámetros Configurables:**
        - *net.trainParam.mu:* Factor de regularización adaptativo.
        - *net.trainParam.epochs:* Número máximo de iteraciones.
        - *net.trainParam.goal:* Error máximo permitido.
    - **Ventajas**: Reduce el sobreajuste y mejora la generalización.
    - **Desventajas**: Puede ser más lento que otros algoritmos.
- traingdx **(Gradiente Descendente con Momentum y Tasa de Aprendizaje Adaptativa)**
    - **Descripción**: Combina las ventajas del momentum y la tasa de aprendizaje adaptativa para mejorar la eficiencia y estabilidad del entrenamiento.
    - **Parámetros Configurables:**
        - *net.trainParam.mc:* Coeficiente de momentum.
        - *net.trainParam.lr:* Tasa de aprendizaje inicial.

        - *net.trainParam.lr_inc:* Incremento de la tasa de aprendizaje.
        - *net.trainParam.lr_dec:* Decremento de la tasa de aprendizaje.
    - **Ventajas**: Combina velocidad y adaptabilidad.
    - **Desventajas**: Puede requerir ajustes finos de los parámetros.

5. **Funciones de Aprendizaje:**
    - Las funciones de aprendizaje disponibles incluyen:
        - *learngd:* Gradiente descendente estándar.
        - *learngdm:* Gradiente descendente con momentum.
6. **Funciones de Rendimiento:**
    - Las funciones de rendimiento disponibles incluyen:
        - *mse:* Error cuadrático medio (por defecto).
        - *sse:* Suma de errores cuadrados.
        - *crossentropy:* Entropía cruzada para clasificación.
        - *mae:* Error absoluto medio.
        - *msereg:* Error cuadrático medio con regularización.

G. 3. Funcionalidades adicionales

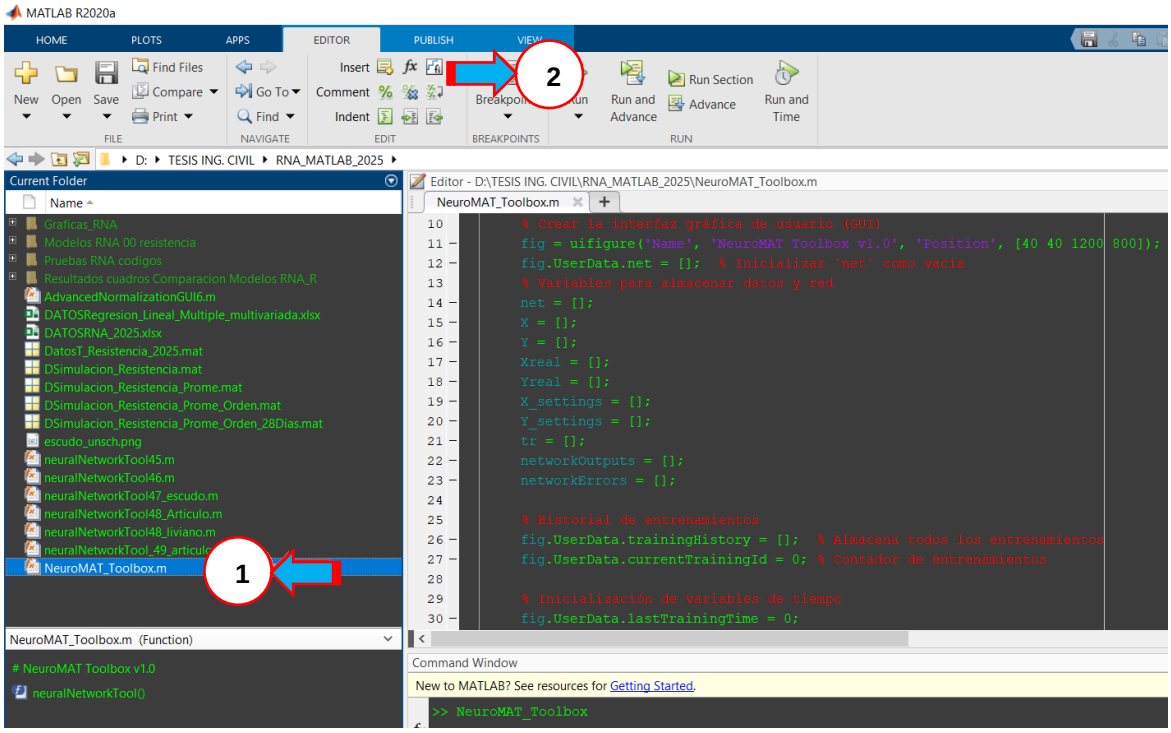
1. **Carga de Datos:**
    - Permite cargar datos de entrada (X) y salida (Y) desde archivos .mat o seleccionarlos directamente desde el workspace de MATLAB.
    - Los datos se visualizan en tablas editables para su revisión y modificación.
2. **División de Datos:**
    - Divide automáticamente los datos en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, con porcentajes configurables.
3. **Validar con Datos Reales:**
    - Permite cargar datos de entrada reales (Xreal) para validar la red y comparar los resultados con datos de salida reales (Yreal).
4. **Visualización de Resultados:**
    - Muestra gráficos de rendimiento, errores de predicción y comparaciones entre valores reales y predichos.
    - Proporciona tablas con las salidas predichas y los errores.
5. **Exportación de Resultados:**
    - Permite exportar los resultados a archivos CSV, MAT y Excel para su análisis posterior.

G. 4. Guía de uso del programa NeuroMAT Toolbox v1.0

a) Se abre el programa y se presiona el botón “Run” para iniciar la ejecución del código.

Figura 63

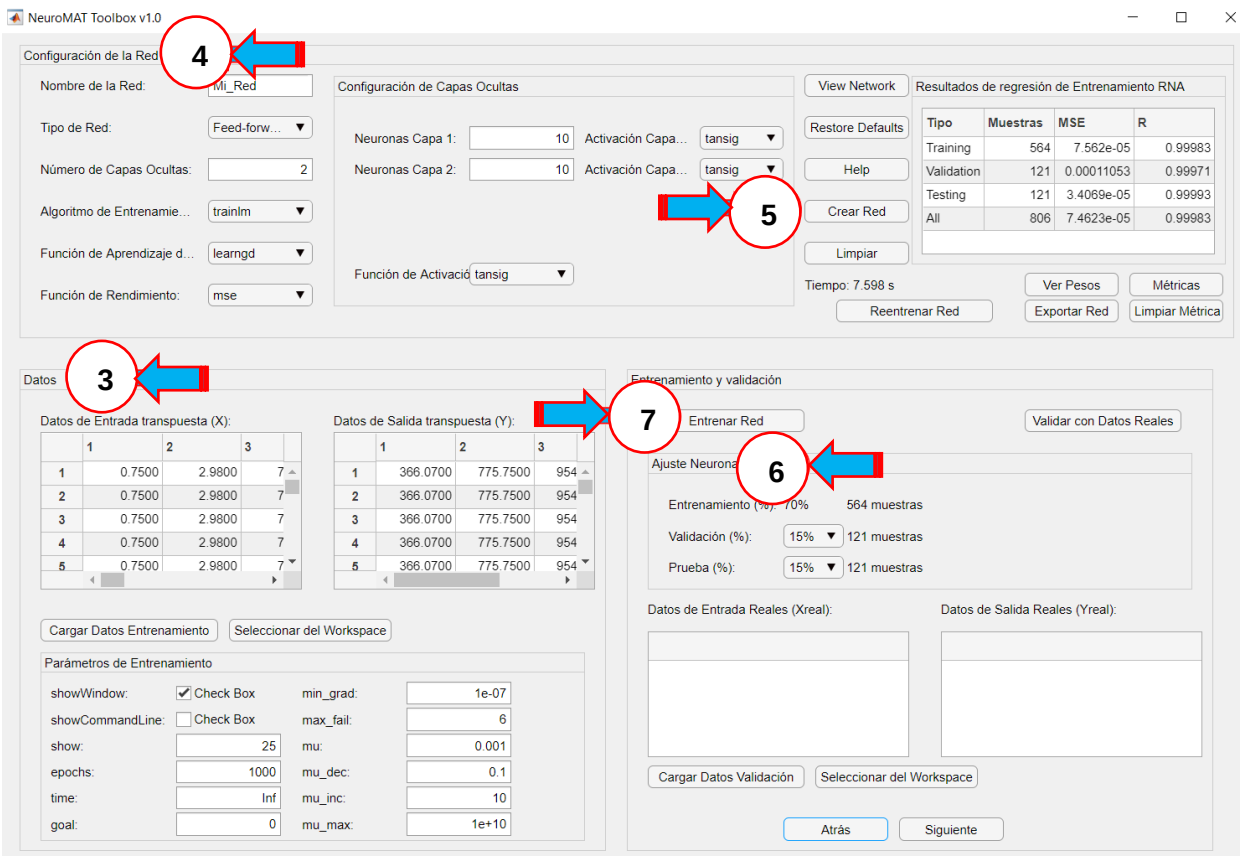
Programa NeuroMAT Toolbox v1.0



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

b) Al desplegarse la interfaz del programa ***NeuroMAT Toolbox v1.0***, se cargan los datos y se configura la red neuronal. Luego, se presiona “Crear Red”. En el panel de *Entrenamiento y Validación*, la sección *Ajuste Neuronal* permite dividir automáticamente los datos en entrenamiento, validación y prueba, con porcentajes configurables. Finalmente, se inicia el entrenamiento con el botón “Entrenar Red”.

Figura 64
Interfaz del programa NeuroMAT Toolbox v1.0



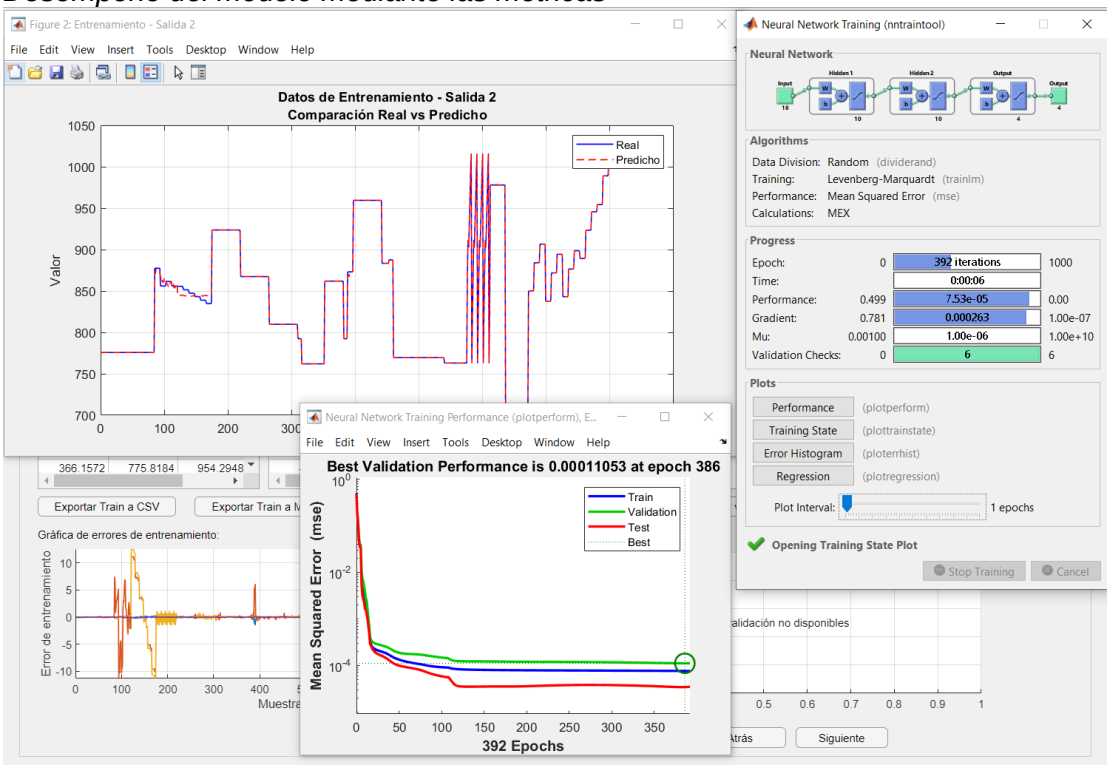
Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

c) Una vez completado el entrenamiento (botón Entrenar Red) o reentrenamiento (botón Reentrenar Red), se evalúa el desempeño del modelo mediante las métricas mostradas en la **Figura 65**.

d) En el panel para el *Entrenamiento y Validación*, se cargan los datos reales de entrada (Xreal) y salida (Yreal) para ejecutar la predicción presionando el botón “Validar con Datos Reales” como se muestra en la **Figura 66**.

Figura 65

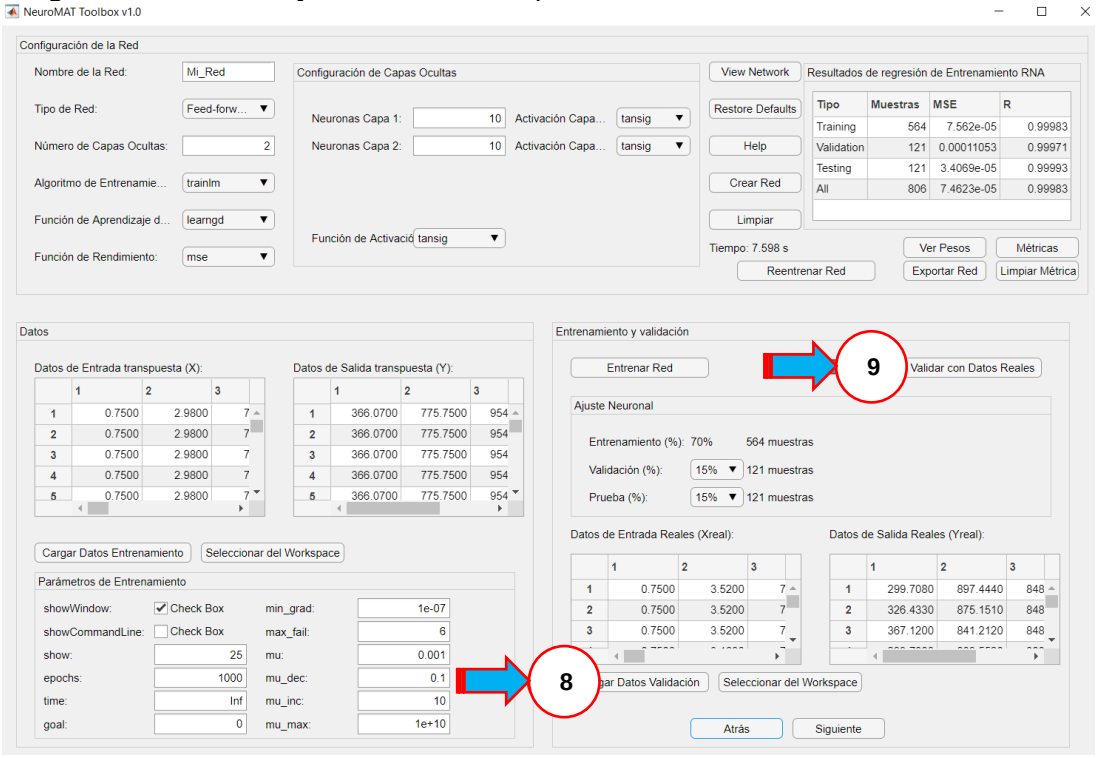
Desempeño del modelo mediante las métricas



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 66

Carga de datos reales y Validación en el panel de entrenamiento

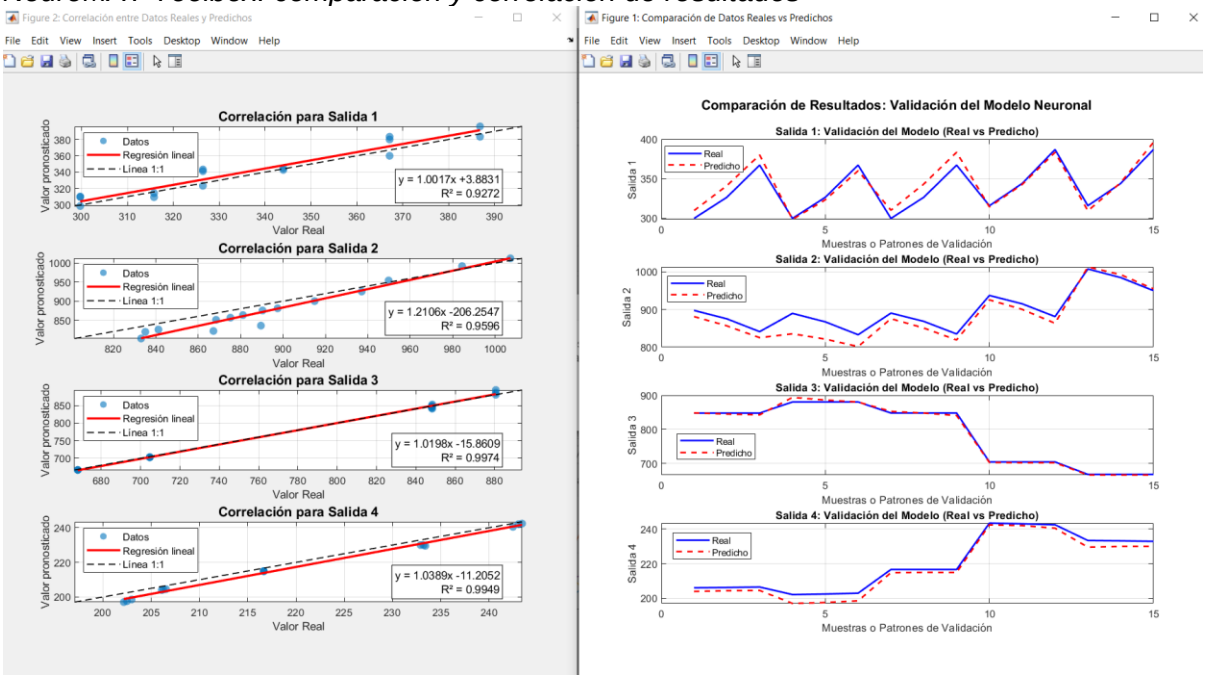


Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

La **Figura 67** muestra los resultados al presionar “Validar con Datos Reales”, incluyendo gráficas de comparación y correlación entre datos reales y predichos para cada variable de salida. Se visualizan botones como “Ver Pesos”, “Métricas” (permite exportar en .csv, .mat, .xlsx, como se aprecia en la **Figura 68**), “Exportar Red” (para guardar el modelo y reutilizarlo posteriormente) y “Limpiar Métrica”. También se presentan los resultados del entrenamiento y Validación, así como sus errores, todos exportables en los formatos indicados.

Figura 67

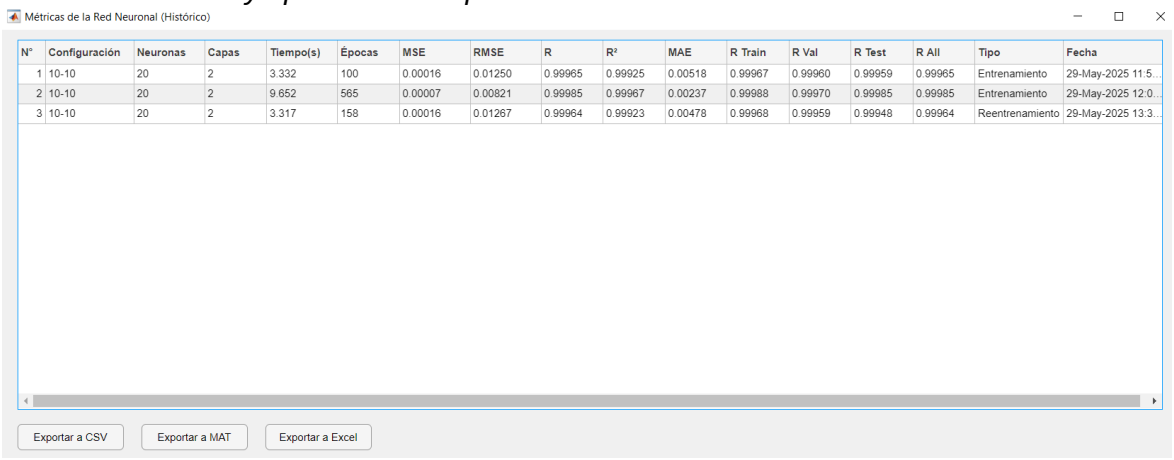
NeuroMAT Toolbox: comparación y correlación de resultados



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Figura 68

Panel de métricas y opciones de exportación en NeuroMAT Toolbox



Nota: Elaboración propia con MATLAB R2020a (2025).

Anexo H

H. Resultados de los modelos de Regresión Lineal Múltiple Multivariante (RLMM)

```
> # Ajuste del modelo RLMM con 4 variables dependientes
> modelo<-lm(cbind(y1,y2,y3,y4) ~ x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x1
3+x14+x15+x16+x17+x18, data=datos) #cbind(y1,y2,y3,y4) para indicar que tie
nes 4 variables dependientes que se modelarán simultáneamente contra los mi
smos predictores.
> # Visualización del resumen del modelo
> summary(modelo) #lm() se usa para regresión univariante, al usar cbind()
en las variables dependientes, R ajusta un modelo multivariante.
Response y1 :

Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 +
    x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18, data = datos)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-63.844  -7.040   0.505   5.337 100.983

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value             Pr(>|t|)
(Intercept) 134.626832 373.880662   0.360             0.718884
x1          -56.543860  13.234730  -4.272  0.00002170660768782 ***
x2          -11.528367   8.756473  -1.317             0.188372
x3          -32.004910   6.641227  -4.819  0.00000173029526502 ***
x4           -0.317309   0.039671  -7.999  0.00000000000000449 ***
x5            0.017659   0.059208   0.298             0.765592
x6            0.295618   0.040239   7.347  0.00000000000050945 ***
x7            0.005717   0.076074   0.075             0.940115
x8           38.638537  76.606210   0.504             0.614136
x9           66.604736  24.407622   2.729             0.006497 **
x10          21.662620  66.427742   0.326             0.744429
x11          -9.689630   2.586271  -3.747             0.000192 ***
x12          11.828279   2.978232   3.972  0.00007794347502596 ***
x13           1.340950   0.462902   2.897             0.003874 **
x14           0.533068   1.591035   0.335             0.737681
x15           0.963087   1.012662   0.951             0.341874
x16          -0.395239   0.110193  -3.587             0.000355 ***
x17           0.657592   0.024834  26.480 < 0.0000000000000002 ***
x18           0.057270   0.017317   3.307             0.000985 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 18.34 on 787 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8418,   Adjusted R-squared:  0.8382
F-statistic: 232.6 on 18 and 787 DF,  p-value: < 0.00000000000000022


Response y2 :

Call:
lm(formula = y2 ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 +
    x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18, data = datos)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-187.342   -7.793   -0.338    9.813   69.236

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value             Pr(>|t|)
```

```
(Intercept)  609.98707  480.05030   1.271              0.20422
x1            14.29967   16.99295   0.842              0.40032
x2           156.50955   11.24302  13.921 < 0.0000000000000002 ***
x3           -44.25233    8.52711  -5.190 0.000000268408985032 ***
x4             0.06813    0.05094   1.337              0.18145
x5            -0.01490    0.07602  -0.196              0.84463
x6             0.13897    0.05167   2.690              0.00730 **
x7            -0.52606    0.09768  -5.386 0.000000095335962896 ***
x8          -462.11232   98.35982  -4.698 0.000003097411084302 ***
x9           260.39073   31.33857   8.309 0.000000000000000421 ***
x10          548.94996   85.29100   6.436 0.000000000212770133 ***
x11          -59.86618    3.32069 -18.028 < 0.0000000000000002 ***
x12           62.22823    3.82395  16.273 < 0.0000000000000002 ***
x13            6.84008    0.59435  11.508 < 0.0000000000000002 ***
x14           15.75640    2.04284   7.713 0.000000000000037169 ***
x15           -0.51810    1.30022  -0.398              0.69039
x16            0.25237    0.14148   1.784              0.07486 .
x17           -0.53808    0.03189 -16.875 < 0.0000000000000002 ***
x18           -0.06398    0.02223  -2.878              0.00411 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 23.54 on 787 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9069,   Adjusted R-squared:  0.9047
F-statistic: 425.7 on 18 and 787 DF,  p-value: < 0.00000000000000022


Response y3 :

Call:
lm(formula = y3 ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 +
    x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18, data = datos)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-24.167  -7.162   0.472   5.037 111.492

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value             Pr(>|t|)
(Intercept)  601.49962  293.21502   2.051             0.040559 *
x1           239.08751   10.37931  23.035 < 0.0000000000000002 ***
x2          -163.82177    6.86724 -23.856 < 0.0000000000000002 ***
x3            25.30421    5.20837   4.858   0.0000014284001653 ***
x4             0.13708    0.03111   4.406   0.0000119912082323 ***
x5            -0.22430    0.04643  -4.831   0.0000016362343160 ***
x6            -0.24474    0.03156  -7.755   0.0000000000000273 ***
x7             0.69838    0.05966  11.706 < 0.0000000000000002 ***
x8           128.38440   60.07824   2.137             0.032909 *
x9            19.19721   19.14162   1.003             0.316215
x10         -201.48762   52.09580  -3.868             0.000119 ***
x11           14.71339    2.02828   7.254   0.0000000000009691 ***
x12          -28.95389    2.33567 -12.396 < 0.0000000000000002 ***
x13            2.81724    0.36303   7.760   0.0000000000000263 ***
x14            0.28329    1.24777   0.227             0.820454
x15            0.77425    0.79418   0.975             0.329906
x16           -0.09653    0.08642  -1.117             0.264341
x17           -0.14852    0.01948  -7.626   0.0000000000000699 ***
x18            0.04403    0.01358   3.242             0.001235 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 14.38 on 787 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.971,    Adjusted R-squared:  0.9703
F-statistic:  1463 on 18 and 787 DF,  p-value: < 0.00000000000000022
```

```
Response y4 :

Call:
lm(formula = y4 ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 +
    x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18, data = datos)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-3.9645 -1.1591 -0.0346  0.7071  9.0307

Coefficients:
              Estimate  Std. Error  t value             Pr(>|t|)
(Intercept)  576.403118   32.359336   17.813 < 0.0000000000000002 ***
x1           -38.209492    1.145465  -33.357 < 0.0000000000000002 ***
x2            -3.879466    0.757872   -5.119          0.000000387 ***
x3             1.841345    0.574798    3.203              0.00141 **
x4            -0.080513    0.003433  -23.449 < 0.0000000000000002 ***
x5             0.068185    0.005124   13.306 < 0.0000000000000002 ***
x6             0.087065    0.003483   24.999 < 0.0000000000000002 ***
x7            -0.091914    0.006584  -13.960 < 0.0000000000000002 ***
x8          -107.558816    6.630260  -16.222 < 0.0000000000000002 ***
x9             5.801686    2.112477    2.746              0.00616 **
x10           -4.690852    5.749315   -0.816              0.41481
x11            7.105469    0.223842   31.743 < 0.0000000000000002 ***
x12           13.529952    0.257766   52.489 < 0.0000000000000002 ***
x13           -8.322018    0.040064 -207.717 < 0.0000000000000002 ***
x14           -9.071297    0.137704  -65.875 < 0.0000000000000002 ***
x15           -0.425175    0.087646   -4.851          0.000001481 ***
x16           -0.004205    0.009537   -0.441              0.65937
x17            0.036328    0.002149   16.902 < 0.0000000000000002 ***
x18            0.001743    0.001499    1.163              0.24530
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 1.587 on 787 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9968,   Adjusted R-squared:  0.9967
F-statistic: 1.371e+04 on 18 and 787 DF,  p-value: < 0.00000000000000022


> # Proporciona intervalos de confianza (por defecto al 95%) para
> confint(modelo) #Cada coeficiente de regresión
                         2.5 %        97.5 %
y1:(Intercept) -599.294501692  868.54816623
y1:x1           -82.523407217  -30.56431260
y1:x2           -28.717173970    5.66043958
y1:x3           -45.041526061  -18.96829493
y1:x4            -0.395181825   -0.23943676
y1:x5            -0.098565591    0.13388294
y1:x6             0.216629491    0.37460750
y1:x7            -0.143615451    0.15504940
y1:x8          -111.738140405  189.01521404
y1:x9            18.692992847  114.51647916
y1:x10         -108.733899127  152.05913998
y1:x11          -14.766436934   -4.61282368
y1:x12            5.982059984   17.67449841
y1:x13            0.432281333    2.24961839
y1:x14           -2.590105918    3.65624130
y1:x15           -1.024751069    2.95092464
y1:x16           -0.611545966   -0.17893193
y1:x17            0.608843166    0.70634008
y1:x18            0.023277293    0.09126303
y2:(Intercept) -332.343440517 1552.31757245
y2:x1           -19.057200611   47.65654333
y2:x2           134.439694263  178.57940309
y2:x3           -60.990904825  -27.51374595
```

```
y2:x4            -0.031859885    0.16811159
y2:x5            -0.164131581    0.13432458
y2:x6             0.037550220    0.24038871
y2:x7            -0.717800097   -0.33432439
y2:x8          -655.190957023 -269.03368416
y2:x9           198.873654750  321.90781415
y2:x10          381.525180734  716.37474193
y2:x11          -66.384634202  -53.34773354
y2:x12           54.721883453   69.73458428
y2:x13            5.673376181    8.00677633
y2:x14           11.746346300   19.76644773
y2:x15           -3.070413144    2.03422182
y2:x16           -0.025365016    0.53009697
y2:x17           -0.600668596   -0.47548581
y2:x18           -0.107629734   -0.02033832
y3:(Intercept)   25.923559967 1177.07568373
y3:x1           218.713116070  259.46191253
y3:x2          -177.302049151 -150.34148743
y3:x3            15.080272355   35.52814190
y3:x4             0.076004326    0.19814702
y3:x5            -0.315451198   -0.13315399
y3:x6            -0.306690788   -0.18279691
y3:x7             0.581267835    0.81549503
y3:x8            10.451852576  246.31695601
y3:x9           -18.377458655   56.77188275
y3:x10         -303.750781378  -99.22446028
y3:x11           10.731920318   18.69486738
y3:x12          -33.538769090  -24.36900205
y3:x13            2.104621668    3.52986393
y3:x14           -2.166053540    2.73262942
y3:x15           -0.784708369    2.33320586
y3:x16           -0.266166601    0.07310993
y3:x17           -0.186751381   -0.11028966
y3:x18            0.017376053    0.07069371
y4:(Intercept)  512.882296311  639.92393947
y4:x1           -40.458019503  -35.96096481
y4:x2            -5.367155808   -2.39177663
y4:x3             0.713026875    2.96966255
y4:x4            -0.087252535   -0.07377281
y4:x5             0.058125606    0.07824400
y4:x6             0.080229003    0.09390198
y4:x7            -0.104838208   -0.07898879
y4:x8          -120.573903542  -94.54372935
y4:x9             1.654929328    9.94844295
y4:x10          -15.976658662    6.59495404
y4:x11            6.666072210    7.54486647
y4:x12           13.023961803   14.03594124
y4:x13           -8.400662824   -8.24337247
y4:x14           -9.341607379   -8.80098662
y4:x15           -0.597221826   -0.25312747
y4:x16           -0.022926765    0.01451594
y4:x17            0.032108893    0.04054724
y4:x18           -0.001199449    0.00468471
> #Cálculo SSE (Suma de Cuadrados de los Errores )
> mlm_model <- manova(cbind(y1,y2,y3,y4) ~x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x1
1+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18, data = datos)
> SSE<-summary(mlm_model)$SS$Residuals
> SSE
            y1          y2          y3        y4
y1  264631.530 -304759.77  133116.201  6360.472
y2 -304759.774  436263.69 -219475.097 -8571.960
y3  133116.201 -219475.10  162760.123  4096.726
y4    6360.472   -8571.96    4096.726  1982.325
> # Evaluación del ajuste general del modelo
> # H0 : β = 0
```

```
> #H1 : β ≠ 0 para al menos un βjk, j = 0, 1, . . . , p y k = 1, 2, . . . ,
q.
> #Lambda de Wilks (Λ)
> summary(mlm_model, test = "Wilks")
          Df   Wilks approx F num Df den Df                 Pr(>F)
x1         1 0.01432  13487.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x2         1 0.04163   4512.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x3         1 0.06598   2774.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x4         1 0.01264  15309.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x5         1 0.10160   1733.2      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x6         1 0.08046   2239.9      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x7         1 0.01348  14349.3      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x8         1 0.03393   5581.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x9         1 0.04370   4289.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x10        1 0.02360   8109.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x11        1 0.06286   2922.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x12        1 0.11518   1505.7      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x13        1 0.01225  15807.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x14        1 0.12393   1385.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x15        1 0.94976     10.4      4    784          0.00000003471 ***
x16        1 0.96993      6.1      4    784          0.00008116620 ***
x17        1 0.23628    633.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x18        1 0.97930      4.1      4    784                0.002503 **
Residuals 787
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
> #La traza de Pillai (V)
> summary(mlm_model, test = "Pillai") # Pillai's Trace
          Df  Pillai approx F num Df den Df                 Pr(>F)
x1         1 0.98568  13487.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x2         1 0.95837   4512.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x3         1 0.93402   2774.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x4         1 0.98736  15309.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x5         1 0.89840   1733.2      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x6         1 0.91954   2239.9      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x7         1 0.98652  14349.3      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x8         1 0.96607   5581.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x9         1 0.95630   4289.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x10        1 0.97640   8109.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x11        1 0.93714   2922.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x12        1 0.88482   1505.7      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x13        1 0.98775  15807.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x14        1 0.87607   1385.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x15        1 0.05024     10.4      4    784          0.00000003471 ***
x16        1 0.03007      6.1      4    784          0.00008116620 ***
x17        1 0.76372    633.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x18        1 0.02070      4.1      4    784                0.002503 **
Residuals 787
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
> #La traza de Hotelling-Lawley (U)
> summary(mlm_model, test = "Hotelling-Lawley")
          Df Hotelling-Lawley approx F num Df den Df      Pr(>F)
x1         1          68.815  13487.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x2         1          23.023   4512.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x3         1          14.155   2774.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x4         1          78.110  15309.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x5         1           8.843   1733.2      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x6         1          11.428   2239.9      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x7         1          73.211  14349.3      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x8         1          28.474   5581.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x9         1          21.885   4289.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x10        1          41.376   8109.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x11        1          14.908   2922.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x12        1           7.682   1505.7      4    784 < 0.00000000000000022 ***
```

```
x13         1 80.652  15807.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x14         1  7.069   1385.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x15         1  0.053     10.4      4    784          0.00000003471 ***
x16         1  0.031      6.1      4    784          0.00008116620 ***
x17         1  3.232    633.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x18         1  0.021      4.1      4    784                0.002503 **
Residuals 787
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
> #Estadística de Roy (θ)
> summary(mlm_model, test = "Roy")
           Df    Roy approx F num Df den Df                 Pr(>F)
x1          1 68.815  13487.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x2          1 23.023   4512.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x3          1 14.155   2774.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x4          1 78.110  15309.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x5          1  8.843   1733.2      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x6          1 11.428   2239.9      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x7          1 73.211  14349.3      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x8          1 28.474   5581.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x9          1 21.885   4289.4      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x10         1 41.376   8109.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x11         1 14.908   2922.0      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x12         1  7.682   1505.7      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x13         1 80.652  15807.8      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x14         1  7.069   1385.6      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x15         1  0.053     10.4      4    784          0.00000003471 ***
x16         1  0.031      6.1      4    784          0.00008116620 ***
x17         1  3.232    633.5      4    784 < 0.00000000000000022 ***
x18         1  0.021      4.1      4    784                0.002503 **
Residuals 787
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Anexo I

I. Panel fotográfico

I.1. Ensayos de propiedades físicas de los agregados – cantera “La Moderna”

Figura 69
Preparación de muestra para granulometría del agregado grueso – cantera “La Moderna”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 70
Ensayo de granulometría en tamices del agregado grueso – cantera “La Moderna”



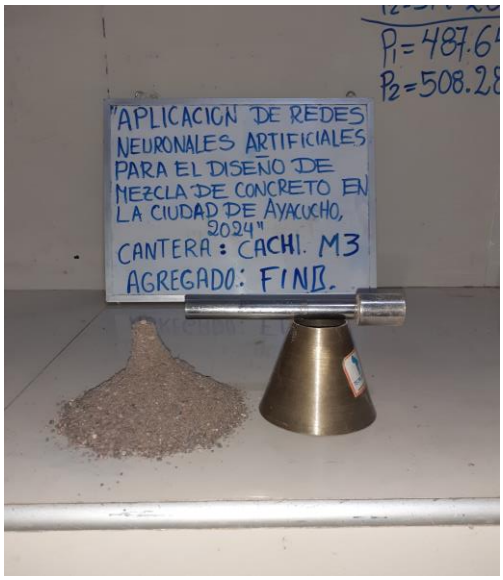
Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 71
Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – cantera “La Moderna”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 72
Ensayo para peso específico y absorción del agregado fino – cantera “La Moderna”



Nota: Elaboración propia (2024)

I.2. Ensayos de propiedades físicas de los agregados – cantera “Chillico”

Figura 73
Ensayo de granulometría en tamices del agregado fino – cantera “Chillico”



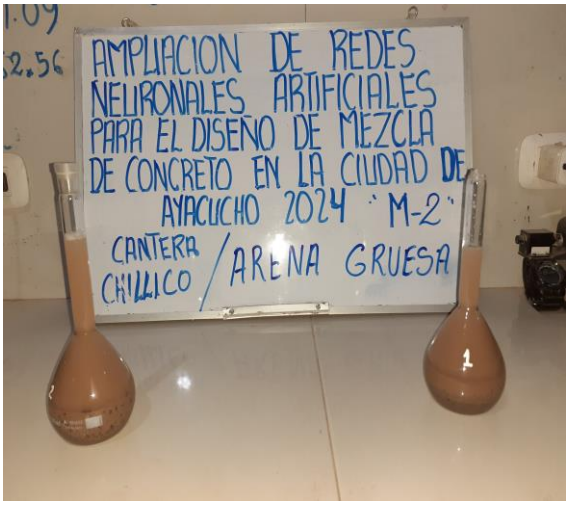
Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 74
Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino – Cantera “Chillico”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 75
Ensayo para peso específico y absorción del agregado fino – cantera “Chillico”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 76
Ensayo del contenido de humedad – cantera “Chillico”



Nota: Elaboración propia (2024)

I.3. Proceso de elaboración de probetas y ensayos de resistencia a la compresión

Figura 77
Selección y pesado de materiales para elaboración de concreto – cantera “La Moderna”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 78
Selección y pesado de materiales para elaboración de concreto – cantera “Chillico”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 79
Mezclado de materiales en la mezcladora



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 80
Medición del Slump de la mezcla



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 81
Compactado del concreto por varillado en capas



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 82
E Probetas en proceso de curado en tanque de agua



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 83
Ensayo de resistencia a la compresión en prensa hidráulica – Probeta cantera “La Moderna”



Nota: Elaboración propia (2024)

Figura 84
Ensayo de resistencia a la compresión en prensa hidráulica – Probeta cantera “Chillico”



Nota: Elaboración propia (2024)

Anexo J

J. Certificado de calibración

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-00590-002 R0

Equipo *Instrument*	MÁQUINA PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN
Fabricante / Año *Manufacturer / Year*	PINZUAR (2017)
Modelo *Model*	PC-180 // PT 2115
Número de Serie *Serial Number*	157 // 120-431
Identificación Interna *Internal Identification*	NO PRESENTA
Capacidad Máxima *Maximum Capacity*	1000 kN
Solicitante *Customer*	AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.
Dirección *Address*	JR. POCKRAS NRO. 693
Ciudad *City*	AYACUCHO
Fecha de Calibración *Date of calibration*	2024 – 10 – 03
Fecha de Emisión *Date of issue*	2024 – 10 – 10
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos *Number of pages of the certificate and documents attached*	04

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and internationals standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsable for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

Ing. Sergio Iván Martínez
Director Laboratorio de Metrología

Br. Felix Jaramillo Castillo
Metrólogo Laboratorio de Metrología

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
Fuerza · Longitud · Masa · Temperatura
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 · www.pinzuar.com.co

DATOS TÉCNICOS

Dirección de Carga	Compresión
Tipo de Indicación	Digital
Resolución	0,1 kN
Apreciación	0,1 kN
Clase	1,0
Límite Inferior de la Escala	20 kN
Documento de Referencia	ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

La actividad se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia iniciando con la inspección del equipo y encontrándose como apto para la ejecución de las mediciones correspondientes. El proceso se inicia ejecutando las precargas hasta la carga máxima del equipo. A continuación, se realizaron mediciones en los valores de fuerza discretos acordados con el cliente ejecutando el método comparación directa con fuerza indicada constante, en el que se lleva la indicación del equipo al valor de fuerza objetivo y se registran las lecturas del patrón. Cada lectura tomada se encuentra registrada en las tablas 1 y 2. Es importante destacar que se mantuvo una variación de temperatura inferior a 2 °C en cada serie de mediciones realizadas.

Tabla 1.
Indicaciones registradas durante las precargas

Fuerza Nominal Indicada		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón			Promedio	Errores Relativos	
		S_1 Ascendente	S_2 Ascendente	S_3 Ascendente	$S_{1,2\,y\,3}$	Indicación q	Repetibilidad b
≈ %	kN	kN	kN	kN	kN	%	%
20,0	200,0	199,624	200,061	198,700	199,461 8	0,27	0,685
95,0	950,0	948,386	945,965	948,095	947,481 9	0,27	0,256

Tabla 2.
Indicaciones como se entrega de la máquina

Fuerza Nominal Indicada		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					Promedio
		S_1 Ascendente	S_2 Ascedente	S_2' No Aplica	S_3 Ascendente	S_4 No Aplica	$S_{1,2\,y\,3}$
≈ %	kN	kN	kN	—	kN	—	kN
20,0	200,0	200,639	200,333	----	200,679	----	200,550 5
30,0	300,0	299,761	300,218	----	300,103	----	300,027 5
40,0	400,0	398,608	399,205	----	399,411	----	399,074 7
50,0	500,0	499,184	498,768	----	499,695	----	499,215 7
60,0	600,0	598,046	598,452	----	598,918	----	598,472 3
70,0	700,0	697,811	698,112	----	698,993	----	698,305 3
80,0	800,0	798,806	797,955	----	798,305	----	798,355 1
90,0	900,0	897,639	896,519	----	896,314	----	896,823 8
99,0	990,0	989,284	987,803	----	987,303	----	988,130 2

Tabla 3.
Error realitivo de cero, f_0, calculado para cada serie de medición a partir de la indicación de cero residual obtenida tras la descarga del IBC.

$f_{0,S1}$ %	$f_{0,S2}$ %	$f_{0,S2'}$ %	$f_{0,S3}$ %	$f_{0,S4}$ %
0,030	0,070	----	-0,200	----

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
Fuerza · Longitud · Masa · Temperatura
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 · www.pinzuar.com.co

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 4.
Resultados de la Calibración de la máquina de ensayo.

Indicación del IBC		Error Relativo de ...			Resolución Relativa	Incertidumbre Expandida		$k_{p=95\%}$
		Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad			U	
		q	b	v	a			
≈ %	kN	%	%	%	%	kN	%	-----
20,0	200,0	-0,27	0,172	-----	0,050	0,37	0,19	2,28
30,0	300,0	-0,01	0,152	-----	0,033	0,46	0,15	2,37
40,0	400,0	0,23	0,202	-----	0,025	0,85	0,21	2,87
50,0	500,0	0,16	0,186	-----	0,020	0,97	0,19	2,87
60,0	600,0	0,26	0,146	-----	0,017	0,85	0,14	2,43
70,0	700,0	0,24	0,170	-----	0,014	1,2	0,17	2,65
80,0	800,0	0,21	0,107	-----	0,013	0,89	0,11	2,19
90,0	900,0	0,35	0,148	-----	0,011	1,4	0,16	2,65
99,0	990,0	0,19	0,201	-----	0,010	2,3	0,24	3,31

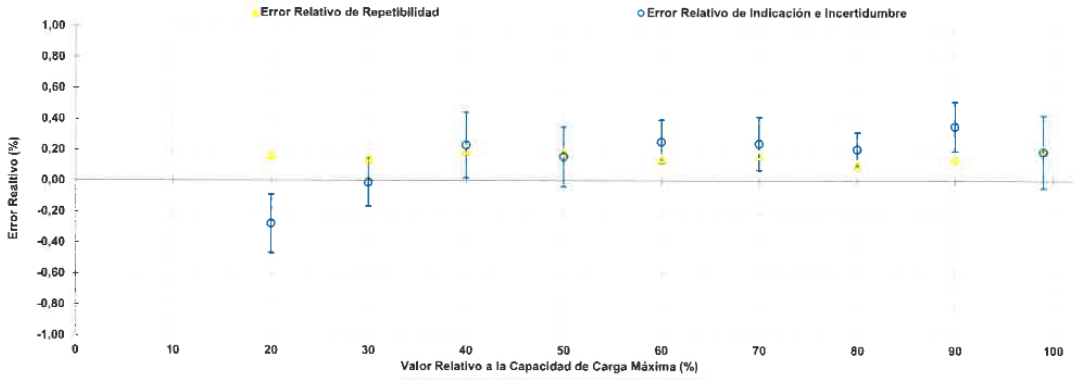


Figura 1. Representación gráfica de los resultados de la Calibración del IBC.

Tabla 5.
Coeficientes para el cálculo de la fuerza corregida a partir de los resultados reportados. Donde F (kN) es la fuerza calculada y X (kN) es el valor de la indicación mostrada por el IBC.

$$F = A + (B * x) + (C * x^2) + (D * x^3)$$

A	B	C	D
1,388 198 E00	9,961 127 E-01	-3,999 425 E-06	4,238 700 E-09

El usuario es responsable de la inclusión y cálculo de los aportes de la fuente de incertidumbre al utilizar esta ecuación en sus mediciones.

CONDICIONES AMBIENTALES

El lugar de la Calibración fue ZONA DE ROTURA de la empresa AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C. ubicada en AYACUCHO. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima:	18,8 °C	**Temperatura Ambiente Mínima:**	18,6 °C
Humedad Relativa Máxima:	41 % hr	**Humedad Relativa Mínima:**	37 % hr

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
Fuerza · Longitud · Masa · Temperatura
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 · www.pinzuar.com.co

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de medición declarada se expresa como la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente el 95%. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

TRAZABILIDAD

Los resultados reportados en este certificados de calibración se obtuvieron utilizando patrones trazables al SI a través de institutos nacionales de metrología y/o laboratorios acreditados y son parte de un programa de aseguramiento metrológico que garantiza la exactitud e incertidumbres requeridas. El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos y se pueden descargar accediendo al enlace del código QR.

Equipo de Referencia	Modelo	No. Serie	Clase	Certificado de Calibración	Próxima Calibración
Transductor de Fuerza 1000 kN	C8S	930040	0.5	6753 del INM de Colombia	2025-06

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO

La siguiente tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza la escala de la máquina de ensayo. Según ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system.

Clase de la escala de la máquina	Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad*	Cero	Resolución relativa
0,5	0,5	0,5	0,75	0,05	0,25
1	1,0	1,0	1,50	0,10	0,50
2	2,0	2,0	3,00	0,20	1,00
3	3,0	3,0	4,50	0,30	1,50

*El error realtivo de reversibilidad se determina solamente cuando es previamente solicitado por el cliente.

OBSERVACIONES

1. Se usa la coma (,) como separador decimal.
2. Los valores de fuerza en los que se ha ejecutado la calibración fueron acordados y aprobados con el cliente.
3. En cualquier caso, la máquina de ensayos debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. Numeral 9. ISO 7500-1:2018
4. Se adjunta etiqueta de calibración No. **F-00590-002**

Fin del Certificado

Certificado de Calibración - Laboratorio de Masa y Balanzas

Calibration Certificate - Mass and Weighing Instruments Laboratory

M-00590-003 R0

Equipo *Instrument*	INSTRUMENTO DE PESAJE NO AUTOMÁTICO
Fabricante *Manufacturer*	OHAUS
Modelo *Model*	R31P30
Número de Serie *Serial Number*	8336030031
Identificación Interna *Internal Identification*	NO PRESENTA
Carga Máxima *Maximum load*	30000 g
Solicitante *Customer*	AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.
Dirección *Address*	JR. POCKRAS NRO. 693
Ciudad *City*	AYACUCHO
Fecha de Calibración *Date of calibration*	2024 – 10 – 03
Fecha de Emisión *Date of issue*	2024 – 10 – 10
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos *Number of pages of the certificate and documents attached*	04

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and internationals standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsable for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología PINZUAR LTDA no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

Ing. Sergio Iván Martínez
Director Laboratorio de Metrología

Felix Jaramillo Castillo
Metrólogo Laboratorio de Metrología

DATOS TÉCNICOS

Método Empleado	Comparación Directa
Número de Serie	8336030031
Identificación Interna	NO PRESENTA
Resolución	1 g
Intervalo Calibrado	5 g a 30000 g
Documento de Referencia	Guía para la calibración de los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático SIM MWG7/cg-01/V.00 Año 2009

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Antes de proceder con la toma de datos se realizó una inspección breve donde se determinó que la instalación (ubicación en el cuarto, nivelación, fuente de corriente y/o batería, entre otros) es adecuada para ejecutar la calibración, también se realizó una verificación de funcionamiento realizando una precarga con el fin de comprobar el buen funcionamiento del instrumento. Posterior a esto se llevaron a cabo las pruebas para los errores de las indicaciones, repetibilidad y excentricidad siguiendo los lineamientos de la Guía SIM - 2009, Numerales 4,5,6,7; Apéndices A,B,C,D,E y F.

En la tabla 1 se encuentran los resultados obtenidos en la prueba para los errores de las indicaciones que permite evaluar la exactitud del instrumento, se encuentran los errores calculados de la diferencia entre la indicación del instrumento y la carga aplicada.

Tabla 1.
Resultados de la prueba para los errores de las indicaciones

Carga g	Indicación Ascendente g	Indicación Descendente g	Error Ascendente g	Error Descendente g	Incertidumbre Expandida ± g	k^{1}, p=95,45% -----
5,0	5	5	0,0	0,0	1,5	2,13
50,0	50	50	0,0	0,0	1,5	2,13
100,0	100	100	0,0	0,0	1,5	2,13
200,0	200	200	0,0	0,0	1,5	2,13
500,0	500	500	0,0	0,0	1,5	2,13
1 000,0	1 000	1000	0,0	0,0	1,5	2,13
2 000,0	2 000	2000	0,0	0,0	1,5	2,12
5 000,0	5 000	5000	0,0	0,0	1,6	2,09
10 000,0	10 000	10000	0,0	0,0	1,8	2,04
20 000,0	20 000	20000	0,0	0,0	3,2	2,01
30 000,0	30 000	30000	0,0	0,0	4,8	2,01

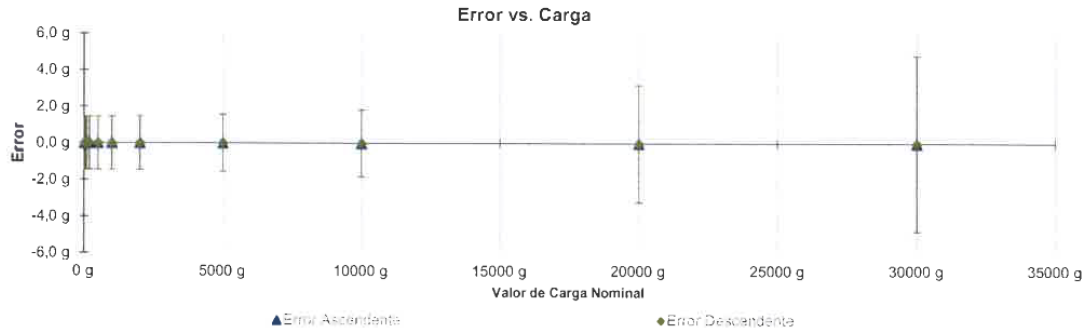


Figura 1. Gráfica para el ensayo de error de indicación.

[1] *Factor de cobertura*

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN *(Continuación)*

A continuación, en la Tabla 2 se encuentran los resultados para el ensayo de excentricidad de carga que permite evaluar el comportamiento del equipo al aplicar cargas en un lugar diferente al centro del receptor de carga como se muestra en la Figura 2.

Tabla 2.
Resultados prueba de excentricidad y la máxima diferencia.

Valor Nominal de la Carga	10000 g

Posición	Indicación del Instrumento	Diferencia Respecto al Centro
-----	g	g
1	10 000	-------
2	9 999	- 1
3	9 998	- 2
4	10 000	0
5	10 001	1
Diferencia máxima respecto al centro		**2**

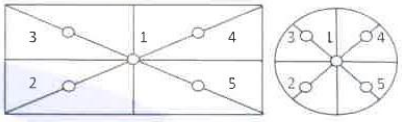


Figura 2. Posiciones de carga para la prueba de excentricidad.

Por último, en la Tabla 3 se muestran los resultados del ensayo de repetibilidad que permite identificar la variación de la indicación del instrumento de pesaje no automático al colocar una misma carga bajo condiciones idénticas de manejo y bajo condiciones de ensayo constantes.

Tabla 3.
Resultados prueba de repetibilidad y la desviación estándar calculada para cada carga.

	Valor Nominal de las Cargas	
	15 g	30 g
Cantidad de Repeticiones	Indicación del Instrumento	
1	15000	30000
2	15000	30000
3	14999	29999
4	15000	30000
5	15000	29999
Desviación Estándar	**0,45 g**	**0,55 g**

CONDICIONES AMBIENTALES

El lugar de la calibración fue ZONA DE ENSAYOS GRANULOMETRICOS, AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.; AYACUCHO. Durante la calibración se registraron las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Máxima:	19,3 °C	**Temperatura Mínima:**	18,7 °C
Humedad Máxima:	36 % HR	**Humedad Mínima:**	34 % HR
Presión Barométrica Máxima:	727,5 hPa	**Presión Barométrica Mínima:**	727,5 hPa

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición está dada en la tabla de resultados de la página No. 2, para cada punto de calibración. La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. Fue estimada según el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Tomando como base los resultados obtenidos en la calibración del instrumento de pesaje no automático, se obtienen las ecuaciones con las que el usuario podrá corregir cada lectura R, y también obtener su incertidumbre expandida U_R

La ecuación para la corrección de la lectura, donde R es tomada directamente del indicador del instrumento en las unidades que se reportan los resultados en la página número dos de este certificado. La ecuación aquí presentada aplica a ejercicios de pesada en los que se ajusta el cero del instrumento antes de ejecutar la pesada y asumiendo como condiciones normales de uso lo declarado por el usuario durante la calibración y de información recolectada durante la misma.

$R_{corregida} = R - E_{aprox}$ $\quad E_{aprox} =$ -4.97 E-07 R

La pesada ejecutada en el instrumento de pesaje tendrá la siguiente incertidumbre estándar,

$u^2(W) =$ 4,67 E-01 + 1,33 E-08 R^2

Incertidumbre expandida de un resultado de pesada

$U_R = k \cdot u(W)$

Se puede tomar el valor k = 2, que corresponde a una probabilidad aproximada del 95 % y aplica cuando se puede asumir una distribución normal (Gaussiana) para el error de la indicación. Se encuentra más información sobre el valor de k en el documento Guía SIM MWG7/gc-01/V.00:2009 Guía para la Calibración de los Instrumentos para Pesar de Funcionamiento No Automático.

TRAZABILIDAD

El/Los certificado(s) reportados(s) en este certificado de calibración se obtuvieron utilizando patrones trazables al SI a través de institutos nacionales de metrología y/o laboratorios acreditados y son parte de un programa de aseguramiento metrológico que garantiza la exactitud e incertidumbres requeridas.
El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan posteriormente se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

Equipo	Fabricante	Certificado(s) de calibración	Fecha(s) de calibración
Pesas clase F1	Pinzuar	M-31695-001 Pinzuar / 0773-MPES-C-2024 Pesatec	2024-04-26 2024-06-11
Pesas clase F1	No presenta	M-31695-002 Pinzuar / 0813-MPES-C-2024 Pesatec	2024-04-25 2024-06-14

OBSERVACIONES

1. Se usa la coma como separador decimal
2. Las fórmulas calculadas para la obtención de la lectura corregida y su correspondiente incertidumbre estándar se obtuvieron a partir de la condiciones evidenciadas en la calibración (instalación, variación de condiciones ambientales, corriente eléctrica). Si las condiciones de uso del instrumento difieren a las al que hace referencia este certificado es responsabilidad del usuario establecer si es o no adecuada su aplicación.
3. Se puede obtener más información sobre el método y cálculos realizados para la emisión de este certificado de calibración consultando el documento de referencia mencionado en la página dos.
4. Las cargas de prueba utilizadas en los ensayos de excentricidad, repetibilidad y errores de las indicaciones fueron acordados y aprobados por el cliente
5. la calibración puede dejar de ser válida si el instrumento es trasladado a un lugar distinto del que fue calibrado
6. Se adjunta la estampilla de calibración **No.** **M-00590-003**

Fin del Certificado

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
Fuerza · Longitud · Masa · Temperatura
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 · www.pinzuar.com.co

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC083 - T - 2024

1. **Expediente** 240146
2. **Solicitante** AKHISE INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.
3. **Dirección** Jr. Pockras Nro. 693, Ayacucho - Huamanga - AYACUCHO
4. **Equipo** HORNO
   - **Alcance Máximo** De 0 °C a 300 °C
   - **Marca** KAIZA CORP
   - **Modelo** NO INDICA
   - **Número de Serie** 161162
   - **Procedencia** CHINA
   - **Identificación** NO INDICA
   - **Ubicación** LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	0 °C a 300 °C	0 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0,1 °C	0,1 °C
Tipo	CONTROLADOR DIGITAL	TERMÓMETRO DIGITAL

5. **Fecha de Calibración** 2024-09-23
6. **Fecha de Emisión** 2024-09-28

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello

JEFE DE LABORATORIO

ANGEL JESUS PEREZ B.

METCAL S.A.C. LABORATORIO - PERÚ -

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC083 - T - 2024

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

7. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa de acuerdo al PC-018 "Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con Aire como Medio Termostatico", 2da edición, publicado por el SNM-INDECOPI, 2009.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO.
Jr. Pockras Nro. 693, Ayacucho - Huamanga - AYACUCHO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,5 °C	21,5 °C
Humedad Relativa	58 %	58 %

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120 min minutos.
El controlador se seteo en 110 °C

10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrologia LT-294-2023 / INACAL	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES	0016-TPES-C-2024

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

METCAL S.A.C. LABORATORIO PERÚ

12. Resultados de Medición

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo	Termómetro del equipo	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T_{prom}	$T_{máx}-T_{mín}$
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
(min)	(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(°C)	
00	110,0	111,3	109,7	110,9	108,4	111,2	112,9	110,9	110,0	110,5	111,9	110,8	4,5
02	110,0	111,4	109,7	110,8	108,2	111,2	112,7	110,9	110,0	110,8	111,7	110,7	4,5
04	110,0	111,4	109,7	110,9	108,3	111,1	112,6	110,9	110,0	110,8	111,7	110,7	4,3
06	110,0	111,6	109,9	110,8	108,2	111,2	112,7	110,8	110,0	110,9	111,8	110,8	4,5
08	110,0	111,4	109,9	110,8	108,2	111,2	112,6	110,9	110,0	110,8	111,9	110,8	4,4
10	110,0	111,6	109,9	110,8	108,5	111,1	112,6	110,9	110,2	110,8	111,8	110,8	4,1
12	110,0	111,7	109,9	110,6	108,5	111,2	112,6	110,8	110,2	110,8	111,9	110,8	4,1
14	110,0	111,6	109,9	110,9	108,7	111,2	112,6	110,8	110,2	110,8	111,8	110,8	3,9
16	110,0	111,6	109,8	110,9	108,7	111,2	112,6	110,9	110,2	110,9	111,8	110,8	3,9
18	110,0	111,6	109,9	110,9	108,6	111,1	112,7	110,8	110,2	110,9	111,9	110,8	4,1
20	110,0	111,6	109,8	111,0	108,6	111,2	112,7	110,8	110,2	110,9	111,9	110,9	4,1
22	110,0	111,6	109,9	110,6	108,5	111,0	112,7	110,8	110,2	110,9	111,9	110,8	4,2
24	110,0	111,7	109,8	110,5	108,6	111,2	112,7	110,8	110,1	110,8	111,8	110,8	4,1
26	110,0	111,7	109,9	110,7	108,8	111,2	112,8	110,8	110,1	110,9	111,8	110,9	4,0
28	110,0	111,6	109,8	110,6	108,6	111,2	112,8	110,9	110,1	110,9	111,8	110,8	4,2
30	110,0	111,4	109,8	110,7	108,6	111,4	112,8	110,8	110,0	110,9	111,9	110,8	4,2
32	110,0	111,6	109,8	110,6	108,6	111,4	112,7	110,9	110,0	110,9	111,9	110,8	4,1
34	110,0	111,7	109,9	110,7	108,7	111,3	112,7	110,8	110,0	110,8	111,8	110,8	4,0
36	110,0	111,6	110,0	110,9	108,7	111,4	112,8	110,8	110,0	110,9	112,0	110,9	4,1
38	110,0	111,6	109,8	110,8	108,7	111,3	112,9	110,8	110,0	110,9	111,9	110,9	4,2
40	110,0	111,6	109,9	110,8	108,7	111,4	112,9	110,9	110,0	110,9	111,9	110,9	4,2
42	110,0	111,6	109,9	110,9	108,5	111,5	112,9	111,1	110,2	110,9	111,9	110,9	4,4
44	110,0	111,7	109,9	110,8	108,5	111,5	112,7	111,1	110,2	110,8	111,9	110,9	4,2
46	110,0	111,7	109,9	110,8	108,6	111,4	112,7	111,1	110,2	110,8	111,7	110,9	4,1
48	110,0	111,7	109,9	110,8	108,6	111,4	112,9	110,8	110,2	110,8	111,8	110,9	4,3
50	110,0	111,7	109,8	110,7	108,7	111,3	112,9	111,0	110,1	110,8	111,9	110,9	4,2
52	110,0	111,6	109,9	110,7	108,7	111,4	112,9	111,0	110,1	110,8	111,9	110,9	4,2
54	110,0	111,6	109,9	110,6	108,5	111,4	112,9	110,8	110,1	110,8	111,9	110,8	4,4
56	110,0	111,6	109,9	110,7	108,5	111,4	112,9	110,9	110,0	110,8	111,9	110,8	4,4
58	110,0	111,7	109,7	110,9	108,7	111,4	112,8	111,1	110,1	110,9	111,9	110,9	4,1
60	110,0	111,6	109,8	110,7	108,7	111,4	112,7	111,2	109,9	110,8	112,0	110,9	4,0
T.PROM	110,0	111,6	109,8	110,7	108,6	111,3	112,7	110,9	110,1	110,8	111,8	110,8	
T.MAX	110,0	111,7	110,0	111,0	108,8	111,5	112,9	111,2	110,2	110,9	112,0		
T.MIN	110,0	111,3	109,7	110,5	108,2	111,0	112,6	110,8	109,9	110,5	111,7		
DTT	0,0	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3		

METCAL S.A.C. LABORATORIO - PERÚ

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC083 - T - 2024

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	112,9	0,3
Mínima Temperatura Medida	108,2	0,3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,6	0,3
Desviación de Temperatura en el Espacio	4,2	0,3
Estabilidad Medida (±)	0,3	0,04
Uniformidad Medida	4,5	0,3

T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su **"desviación de temperatura en el tiempo"** DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su **"desviación de temperatura en el espacio"** está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0,06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

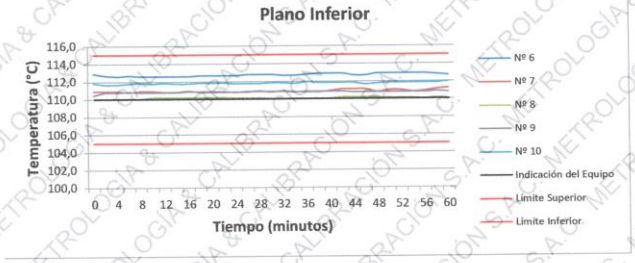
La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a ± 1/2 DTT.

METCAL S.A.C. LABORATORIO - PERU -

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C



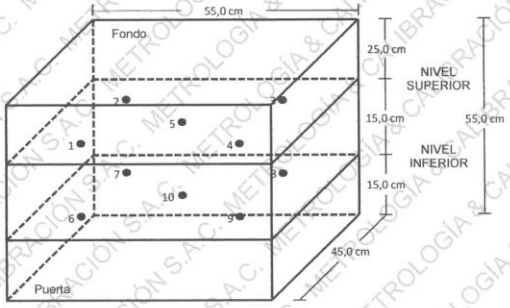


METCAL S.A.C. LABORATORIO PERÚ

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC083 - T - 2024

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 7 cm de las paredes laterales y a 6 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

13. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estandar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

METCAL S.A.C. LABORATORIO - PERÚ

Anexo K

k.1. Ficha técnica del cemento

CEMENTO ANDINO PREMIUM

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES



FICHA TÉCNICA /

CEMENTO
ANDINO PREMIUM

DESCRIPCIÓN:
- Es un cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda clínker Tipo I y yeso.

BENEFICIOS:
- Alta resistencia a mediano y largo plazo.
- Alta durabilidad de las estructuras.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcali reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

USOS:
- Estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones de gran envergadura, como puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.
- Postes, vigas, viguetas y *shotcrete*.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:
- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:
- *Bolsas de 42.5 kg:* 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- *Granel:* A despacharse en camiones bombonas y *big bags*.

RECOMENDACIONES /

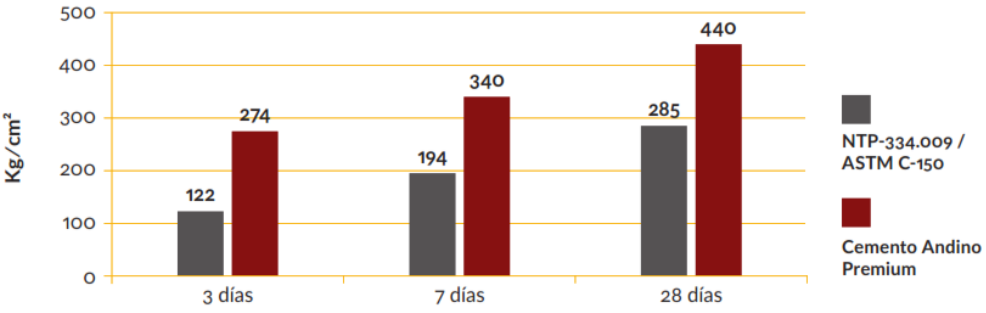
DOSIFICACIÓN:
- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

MANIPULACIÓN:
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

ALMACENAMIENTO:
- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno.

REQUISITOS MECÁNICOS /

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO ANDINO PREMIUM



PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS /

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Premium	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	5.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	-0.02	Máximo 0.80
Superficie específica	m^2/kg	373	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No especifica
Resistencia a la compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm^2	274	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm^2	340	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm^2	440	Mínimo 285*
Tiempo de fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	105	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	282	Máximo 375
Composición química			
MgO	%	1.80	Máximo 6.0
SO_3	%	2.67	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.72	Máximo 1.5
Fases mineralógicas			
C_2S	%	17.86	No especifica
C_3S	%	54.88	No especifica
C_3A	%	7.01	No especifica
C_4AF	%	10.37	No especifica
Álcalis equivalentes			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47	Máximo 0.60*
Resistencia a los sulfatos			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083	0.10 % máx. a 180 días

*Requisito opcional

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES

k.2. Informe de calidad del cemento

UNACEM

CONDORCOCHA

INFORME DE CALIDAD

Marca: Cemento Andino Tipo I

Tipo: Portland Tipo I

Especificación: NTP 334.009

ASTM C 150

Fecha:

Primera Quincena de Agosto de 2024

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Item	UND	Espec. Límite	Result. Ensayo
Dióxido de silicio (SiO2)	%	-	19.97
Óxido de Aluminio (Al2O3)	%	-	4.78
Oxido de fierro (Fe2O3)	%	-	3.32
Óxido de calcio (CaO)	%	-	63.86
Oxido de magnesio (MgO)	%	6.0 máx	1.62
Trióxido de azufre (SO3)[D]	%	3.0 máx	2.77
Óxido de sodio (Na2O)	%	-	0.06
Óxido de potasio (K2O)	%	-	0.70
Alcali Equivalente	%	-	***0.52***
Cal Libre	%	-	0.53
Pérdida por Ignición[E]	%	3.5 máx	2.93
Residuo Insoluble	%	1.5 máx	0.87
Dióxido de carbono (CO2)	%	-	2.13
Caliza	%	5.0 máx	4.93
CaCO3 en caliza	%	70 % mín	90.9

Fases minerales según Bogue

Silicato tricálcico C3S	%	-	55.60
Silicato dicálcico C2S	%	-	12.32
Aluminato tricálcico C3A	%	-	6.69
Aluminoferrito tetracálcico C4AF	%	-	9.57

[D] *Si se supera 3.0% por aplicación de SO3 óptimo aplica exp. Barra mortero (ASTM C 1038)*

[E] *3.0% Máximo cuando caliza no se adiciona.*

**Resistencias a 28 días corresponden a quincena del mes anterior*

***Calorimetría de conducción Isotérmica*

FORMATO DQC-16-006

PRUEBAS FÍSICAS

Item		UND	Espec. Límite	Result. Ensayo
Contenido de aire en volumen		%	12 máx	6.76
Supeficie específica Blaine		cm2/gr.	2600 mín	3970
Expansión Autoclave		%	0.8 máx	0.01
Contracción Autoclave		%	-0.8 máx	-0.01
Resistencia a la compresión		MPa		
	a 1 día	"	-	13.3
	a 3 días	"	12.0 mín	24.4
	a 7 días	"	19.0 mín	31.4
	*a 28 días	"	-	40.7
Tiempo de fraguado (VICAT)		Minutos		
	Inicial	"	45 mín	145
	Final	"	375 máx	285
	Densidad	**gr/cm3**	-	3.15

REQUISITOS FÍSICOS OPCIONALES

Item		UND	Espec. Límite	Result. Ensayo
Falso fraguado		%	50 mín	-
Expansión de la barra de mortero a 14 días (ASTM C 1038)[D]		%	0.020 máx	*D*
Resistencia a la compresión		MPa		
	*a 28 días	"	28.0 mín	40.73
Calor de hidratación (ASTM C 1702)**		cal/g	-	-
	a 3 días	"	-	66.42
Sulfatoresistencia a 14 días (ASTM C 452)		%	-	-
Resisencia a sulfato (ASTM C 1012)		%		
	Expansión a 180 días	"	-	-
	Expansión a 360 días	"	-	-
Expansión álcali agregado (ASTM C 227)				
	14 días	%	-	-
	56 días	%	-	-

Ing. Diana Muedas Alvarez
División Quimica

UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 045-2025-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 350-2025-FIMGC-D**, a los **diez días del mes de octubre de 2025**, siendo las **04:00 p.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**, y los miembros: **Mg. Ing. Víctor BELLIDO AEDO** y **Dr. Hemerson LIZARBE ALARCÓN**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller:

JULIO CESAR RAMOS CAVALCANTI

Quien presentó la tesis denominada:

Aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla de concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024

Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con dieciocho (18)

Siendo las **05:30 p.m.** del día **10 de octubre de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.

MSc. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

Mg. Ing. Víctor BELLIDO AEDO
Miembro

Dr. Hemerson LIZARBE ALARCÓN
Miembro - Asesor

MSc. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 026-2025-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres	:	Julio Cesar RAMOS CAVALCANTI
Escuela Profesional	:	INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis	:	Aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla de concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024
Evaluación de la Originalidad	:	13 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega	:	2814590577

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 14 de noviembre del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Con depósito para Tramites
Cc. Archivo.

Aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla de concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024

por Julio Cesar RAMOS CAVALCANTI

Fecha de entrega: 14-nov-2025 08:22a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2814590577
Nombre del archivo: Te_Julio_Ramos_Cavalcanti.pdf (13.76M)
Total de palabras: 105686
Total de caracteres: 458096

Aplicación de redes neuronales artificiales para el diseño de mezcla de concreto en la ciudad de Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	4%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
6	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
11	Julio Ramos, Hemerson Lizarbe, José Estrada, Rocky Ayala, Main Tenorio, Rualth Bravo, Victor Bellido, Alex Ircañaupa. "Superior Performance of Artificial Neural Networks for Optimizing Concrete Mix Design Using Local Materials in Ayacucho, Peru (2024)", Mathematical Modelling of Engineering Problems, 2025 Publicación	<1 %
12	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

18	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	ria.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
20	www.overleaf.com Fuente de Internet	<1 %
21	Ferrán Navarro Ferrer. "Modelos predictivos de las características prestacionales de hormigones fabricados en condiciones industriales", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	<1 %
22	repositorio.uotavalo.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional del Chimborazo Trabajo del estudiante	<1 %
24	ri.conicet.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	<1 %
26	info.pickeringtest.com Fuente de Internet	<1 %
27	acikbilim.yok.gov.tr Fuente de Internet	<1 %

28	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
32	revistadigital.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
33	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
35	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
36	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Catolica Sedes Sapientiae Trabajo del estudiante	<1 %

39	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
43	Canales Alvarado, Massiel|Sanchez Patino, Mario Raphael|Vigo Heredia, Claudia Vanessa|Zavaleta Ruiz, Carlos Enrique. "Transparencia Corporativa en el Sector Minero en el Peru.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020 Publicación	<1 %
44	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	www.bibliotecas.usfx.bo Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	Teixeira, Maria Cristina Canavarro. "Modelos Econométricos Para el Precio de Los	<1 %

	Inmuebles: Un Caso de Estudio en Portugal", Instituto Politecnico de Castelo Branco (Portugal), 2023 Publicación	
48	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
49	rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com Fuente de Internet	<1 %
50	www.scielo.org.bo Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
52	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	rte.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
54	torio.unileon.es Fuente de Internet	<1 %
55	certidevs.com Fuente de Internet	<1 %
56	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
57	alfapublicaciones.com Fuente de Internet	<1 %

58	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
59	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Corporación Los Pinos Trabajo del estudiante	<1 %
61	José Garrigues Baixauli. "Implementación de algoritmos de redes neuronales artificiales de tipo Fuzzy Artmap y Multilayer Feed Fordward con dispositivos electrónicos programables en sistemas de lenguas electrónicas para la clasificación de muestras y determinación de parámetros fisicoquímicos", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	<1 %
62	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
63	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
66	Submitted to Universidad de Málaga Trabajo del estudiante	<1 %

67	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
68	Machuca, José Huancapaza. "Estimación del Consumo de Combustible y Emisiones de CO2de un Motor a Gasolina de 130 HP Mediante Técnicas de Machine Learning", Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2024 Publicación	<1 %
69	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
70	dialektico.com Fuente de Internet	<1 %
71	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		