

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$,
y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del
pabellón de Ingeniería Agrícola - 2024**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Josue GUTIERREZ LLANTOY

ASESOR:

Dr. Richard Alex OSCCO PECEROS

AYACUCHO - PERÚ

2026

DICATORIA

"A Dios el que dirige mi camino y me ha guiado por el sendero correcto. Mi querida madre, Ana María, y a mis familiares, y hermanos, dedico este logro con profundo agradecimiento. Vuestro inquebrantable apoyo y amor merecen esto y mucho más, en reconocimiento a todo el sacrificio realizado."

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, en particular a la Escuela de Ingeniería Agrícola por haberme permitido formarme en ella como profesional. A los ingenieros en general de mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, que aportaron a mi formación profesional y personal durante mi proceso de aprendizaje. A la Empresa HIDROTERRA S.A.C. Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, por haberme permitido realizar mis ensayos de laboratorio.

A mis queridos compañeros, amigos, y agradezco a los ingenieros residentes y supervisores de la construcción del nuevo pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPITULO I	23
MARCO TEÓRICO	23
<i>1.1. Antecedentes</i>	<i>23</i>
<i>1.1.1. Antecedentes internacionales.....</i>	<i>23</i>
<i>1.1.2. Antecedentes nacionales</i>	<i>25</i>
<i>1.1.3. Antecedentes regionales y locales.....</i>	<i>28</i>
<i>1.2. Bases teorías.....</i>	<i>30</i>
1.2.1. Concreto.....	30
1.2.2. Cemento	31
1.2.3. Agregados	31
1.2.4. Agua	32
1.2.5. Propiedades de los materiales	33
<i>1.2.5.1. Peso Especifico</i>	<i>33</i>
<i>1.2.5.2. Peso unitario.....</i>	<i>33</i>
<i>1.2.5.3. Absorción</i>	<i>33</i>
<i>1.2.5.4. Peso unitario.....</i>	<i>33</i>
<i>1.2.5.5. Porosidad.....</i>	<i>34</i>
1.2.6. Mezclado del concreto	34

1.2.7. Transporte y colocación del concreto.....	35
1.2.8. Curado del concreto	35
1.2.9 Módulo de elasticidad del concreto.....	36
1.3. Análisis estadístico	37
1.4. Resistencia a flexión	39
1.4.1. Factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto	39
1.5. Diseño de vigas.....	39
1.5.1. Falla de tracción, compresión y balanceada.....	40
1.5.2. Ecuación para el diseño en flexión.....	42
1.6. Diseño de losas aligeradas	46
1.6.1. Clasificación	47
1.6.2. Ecuación para el diseño por flexión	49
1.7. Relación de módulo de elasticidad y área de acero mínimo	50
CAPITULO II.....	52
MATERIAL Y MÉTODOS	52
2.1. Material.....	52
2.1.2.Zona de estudio.....	52
2.1.3.Ubicación política y geográfica.....	52
2.1.4.Características de la zona	53
2.1.5.Ubicación de cantera.....	55
2.1.5.1. Ubicación geográfica de cantera.....	55
2.1.6. Materiales	55
2.1.6.1. Materiales de escritorio.....	55
2.1.6.2. Materiales de campo.....	55

2.2. Métodos	55
2.2.1 El enfoque, tipo	55
2.2.1.1 Enfoque de investigación	55
2.2.1.2 Tipo de investigación	56
2.2.2 El diseño de la investigación	56
2.2.3 La población, la muestra y muestreo	57
2.2.3.1 La población	57
2.2.3.2 Muestra	58
2.2.4 Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	58
2.2.5 Procedimiento de recolección de datos	58
2.3. Variables	59
2.3.1. Operacionalizaciones de variables	59
2.4. Indicadores.....	59
2.4.1. Indicadores independientes.....	59
2.4.2. Indicadores dependientes.....	60
2.5. Procedimiento de la investigación	60
2.5.1. <i>Determinar el módulo de Elasticidad del concreto $f'c=210$ kg/cm de los elementos estructurales ...</i>	60
2.5.1.1. <i>Diseño de mezclas por el método ACI-211</i>	60
2.5.1.2. <i>Elaboración de probetas de concreto</i>	61
2.5.1.3. <i>Colocación de marca a testigos de concreto.....</i>	63
2.5.1.4. <i>Curado de los testigos de concreto</i>	64
2.5.1.5. <i>Determinación del módulo de elasticidad del concreto</i>	65
2.5.1.6. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de concreto simple</i>	66
2.5.2. <i>Rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real en la construcción.....</i>	68
2.5.2.1. <i>Recopilación de materiales y datos del expediente técnico, correspondientes a la viga del eje 16 y a la losa aligerada del módulo 6.</i>	68

2.5.2.2. Estructuración y predimensionamiento	69
2.5.2.3. Metrado de carga y combinación de cargas.....	71
2.5.2.4 Diseño por flexión con el módulo de elasticidad normativo.....	72
2.5.2.5 Rediseño por flexión con el módulo de elasticidad real.....	79
2.5.2.6 Comparación de cuantías	83
2.5.3. Determinar la relación de los cálculos rediseñados obtenidos con el expediente técnico en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.	83
2.5.3.1 Recopilación y consolidación de los datos	83
2.5.3.2 Comparación de los parámetros de diseño.....	84
2.5.3.3. Determinación de la variación porcentual	84
2.5.3.4. Análisis de la relación entre el rediseño y el expediente técnico.....	84
2.5.3.5. Análisis de la relación entre el rediseño y el expediente técnico.....	85
CAPITULO III	86
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.1.Resultados.....	86
3.1.1. Del objetivo 1: resultado del ensayo módulo de elasticidad determinar el módulo de elasticidad del concreto $f'_c=210$ kg/cm.	86
3.1.1.1. Resultados de la rotura de probetas de concreto 210 kg/cm ²	87
3.1.2. Del objetivo 2: rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real en la construcción.	88
3.1.2.1 Resultado del diseño por flexión de vigas y losa aligerada.....	88
3.1.2.2. Rediseño de los elementos	93
3.1.3. Del objetivo 3: determinar la relación de los cálculos rediseñados obtenidos con el expediente técnico	98
3.1.3.1. Relación de los cálculos rediseñados y obtenidos con el expediente técnico.....	98

3.2.Discusiones	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	105
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	105
REFERENCIAS-BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Técnicas de recolección de información</i>	58
Tabla 2 <i>Operacionalización de las variables</i>	59
Tabla 3 <i>Tabla de diseño de mezcla</i>	60
Tabla 4 <i>Resumen de acuerdo del expediente técnico</i>	90
Tabla 5 <i>Resumen de acuerdo al expediente</i>	93
Tabla 6 <i>Resumen de acuerdo al expediente técnico</i>	94
Tabla 7 <i>Resumen de acuerdo al expediente técnico</i>	97
Tabla 8 <i>Relación de los valores del expediente del elemento viga</i>	98
Tabla 9 <i>Relación de los valores del expediente del elemento losa aligerada del cuantía de acero</i>	100
Tabla 10 <i>Relación de los valores del expediente del elemento losa aligerada del acero requerido</i>	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Imagen sobre efecto del tiempo del curado del concreto en la resistencia a la compresión.</i>	36
Figura 2 <i>Representación gráfica de la relación esfuerzo vs deformación para le concreto simple.</i>	37
Figura 3 <i>Tipos de fallas</i>	41
Figura 4 <i>Diagrama esfuerzo- deformación</i>	42
Figura 5 <i>Diagrama de esfuerzos</i>	45
Figura 6 <i>Análisis y diseño de losas macizas unidireccionales</i>	48
Figura 7 <i>Características geométricas de una losa aligerada</i>	49
Figura 8 <i>Macro localización del proyecto</i>	53
Figura 9 <i>Micro localización del proyecto</i>	53
Figura 10 <i>Vaciado de concreto en losa.</i>	61
Figura 11 <i>Vaciado de zapata de cimentación.</i>	62
Figura 12 <i>Verificación del slump del concreto</i>	63
Figura 13 <i>Colocación de la marca a los testigos de concreto</i>	63
Figura 14 <i>Curado de testigos de concreto</i>	64
Figura 15 <i>Medición de las probetas previo al ensayo de resistencia.</i>	65
Figura 16 <i>Prensa hidráulicas para el ensayo de módulo de elasticidad del concreto</i> ..	66
Figura 17 <i>Prensa hidráulicas ensayos de resistencia a la compresión de testigos de concreto</i>	67
Figura 18 <i>Plano general del pabellón de ingeniería agrícola</i>	67
Figura 19 <i>Plano en planta distribución arquitectónica de módulo 6</i>	68

Figura 20	<i>Plano en estructuras del módulo 6</i>	73
Figura 21	<i>Plano en planta del modulo 6</i>	78
Figura 22	<i>Evaluación estadística del concreto de 210 kg/cm²</i>	87
Figura 23	<i>Evaluación estadística del concreto de 210 kg/cm²</i>	88
Figura 24	<i>Resultado de momento ultimo expresado tn-m</i>	89
Figura 25	<i>Resultado de momento ultimo expresado tn-m</i>	91
Figura 26	<i>Sección de corte de la viga realizada en el expediente.</i>	99
Figura 27	<i>Sección de corte de la viga realizada en el expediente.</i>	100
Figura 28	<i>sección de corte de la losa aligerada típica.</i>	102
Figura 29	<i>Antes de la rotura del testigo3.</i>	109
Figura 30	<i>Después de la rotura del testigo3.</i>	109
Figura 31	<i>Ensayo de la elaboración del módulo de elasticidad del testigo 3</i>	110
Figura 32	<i>Resultados de la rotura de concreto del testigo 3</i>	110
Figura 33	<i>Antes de la rotura 4</i>	111
Figura 34	<i>Después de la rotura del testigo 4.</i>	111
Figura 35	<i>Ensayo de la elaboración de módulo de elasticidad del testigo 4</i>	112
Figura 36	<i>Restados de la rotura del testigo 4</i>	112

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACI: American Concrete Institute de proporciones de mezcla

ASTM: Asociación internacional de ensayo de materiales

MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones

NTP: Norma técnica peruana

PUS: Peso suelto unitario

PUC: Peso compacto unitario

PE: Peso específico de masa

F'_c : Resistencia a la compresión

F'_{cr} : Resistencia a la compresión de diseño requerida

Kg: Kilogramos

mm: Milímetro

m: Metro

E_c : Modulo de elasticidad del concreto

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la construcción de los pabellones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, se evaluó el módulo de elasticidad del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y se diseñaron los elementos por flexión de dicha construcción, se utilizó un diseño no experimental, correlacional y transversal, de tipo de investigación descriptivo-correlacional, de enfoque cuantitativo y nivel correlacional, con una muestra de 100 testigos de concreto según las recomendaciones del RNE y el ACI, analizados mediante ensayos de laboratorio (ASTM C-469) y regresión estadística, el problema radica en que el módulo de elasticidad real del concreto puede diferir del valor considerado en el expediente técnico o estimado mediante normas, influyendo en la rigidez y deformación de los elementos sometidos a flexión, se obtuvo un módulo de elasticidad no experimental promedio de $247,763.88 \text{ kg/cm}^2$, superior al valor teórico según la norma E.060 ($217,703.65 \text{ kg/cm}^2$), y el rediseño con este valor real generó una reducción de 4.61% en el acero requerido de la viga del eje 16, con incrementos de 15.00% y 24.34% en los aceros mínimo y máximo permisibles, se concluyó que el módulo de elasticidad real influye en el diseño por flexión, y que el refuerzo del expediente técnico se mantiene dentro de los rangos admisibles pese a las variaciones recalculadas, conservando su validez estructural.

Palabra clave: Resistencia a compresión, concreto, módulo de elasticidad, diseño por flexión, expediente técnico.

ABSTRACT

This research was conducted during the construction of the buildings for the Professional School of Agricultural Engineering at the National University of San Cristóbal de Huamanga (Ayacucho); the study evaluated the modulus of elasticity of concrete with a specified strength (f'_c) of 210 kg/cm² and involved the flexural design of the structure's elements. A non-experimental, correlational, and cross-sectional design was employed—specifically a descriptive-correlational study with a quantitative approach—using a sample of 100 concrete specimens in accordance with RNE and ACI recommendations. These were analyzed via laboratory testing (ASTM C-469) and statistical regression. The study addressed the issue that the actual modulus of elasticity of concrete may differ from the value assumed in the technical specifications or estimated via standards, thereby affecting the stiffness and deformation of elements subject to flexure. An average experimental modulus of elasticity of 247,763.88 kg/cm² was obtained—higher than the theoretical value of 217,703.65 kg/cm² specified by Standard E.060. Redesigning using this actual value resulted in a 4.61% reduction in the required steel for the beam on axis 16, alongside increases of 15.00% and 24.34% in the minimum and maximum permissible steel limits. It was concluded that the actual modulus of elasticity influences flexural design and that the reinforcement specified in the original technical documentation remains within permissible ranges despite the recalculated variations, thus maintaining structural validity.

Keywords: Compressive strength, concrete, modulus of elasticity, flexural design, technical documentation.

INTRODUCCIÓN

El concreto armado constituye uno de los principales materiales empleados en la construcción de edificaciones debido a su capacidad para resistir esfuerzos de compresión y trabajar conjuntamente con el acero de refuerzo frente a solicitaciones de tracción y flexión. En el diseño estructural, además de la resistencia a la compresión especificada mediante el f'_c , resulta fundamental conocer las propiedades de deformabilidad del concreto, entre ellas el módulo de elasticidad (E_c), debido a que este parámetro representa la relación entre el esfuerzo y la deformación del material dentro de su rango de comportamiento considerado para el análisis. El módulo de elasticidad interviene en la estimación de la rigidez de los elementos estructurales y, por consiguiente, puede influir en la evaluación de deformaciones, desplazamientos, distribución de esfuerzos y comportamiento de elementos sometidos a flexión. En este sentido, la determinación adecuada de las propiedades mecánicas del concreto constituye un aspecto importante para alcanzar estructuras seguras, funcionales y durables.

La presente investigación se relaciona principalmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS 9): Industria, innovación e infraestructura, específicamente con la meta 9.1, orientada al desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad. La Organización de las Naciones Unidas señala que las infraestructuras constituyen un componente fundamental para el desarrollo económico y el bienestar social, por lo que su calidad y resiliencia requieren procesos adecuados de planificación, diseño, construcción y control. Asimismo, el ODS 9 promueve la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico como instrumentos para mejorar las infraestructuras. En este contexto, evaluar experimentalmente el módulo de elasticidad del concreto y verificar su efecto en el diseño estructural contribuye a generar información técnica para mejorar la confiabilidad de las decisiones de ingeniería y reducir

incertidumbres asociadas al empleo de valores teóricos de las propiedades mecánicas del concreto (Naciones Unidas, 2024).

En Colombia, la determinación del módulo de elasticidad del concreto ha sido reconocida como un aspecto relevante para el análisis y diseño de estructuras de concreto reforzado. Ortiz et al. (2021), en el estudio *Evaluación de la incertidumbre asociada al módulo de elasticidad del concreto producido en Colombia*, analizaron la variabilidad e incertidumbre asociada a esta propiedad, señalando que el módulo de elasticidad constituye una de las variables utilizadas en el análisis y diseño estructural y que su estimación puede afectar considerablemente el desempeño previsto de una estructura, tanto ante demandas sísmicas como durante las condiciones de servicio. Esta situación evidencia que el valor de (E_c) no necesariamente debe considerarse como una constante independiente de las características particulares del concreto, debido a que puede estar condicionado por los materiales utilizados y las características de la mezcla.

Una problemática similar se evidencia en Ecuador, donde Galindo Reascos (2022) desarrolló una investigación orientada al análisis comparativo y correlación de ensayos para determinar la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del hormigón endurecido. El estudio empleó ensayos de esclerometría, velocidad ultrasónica y extracción de núcleos, con la finalidad de establecer correlaciones y porcentajes de variación en las propiedades evaluadas. La investigación demuestra la importancia de verificar las propiedades reales del concreto mediante procedimientos experimentales, particularmente cuando se pretende caracterizar el comportamiento de elementos existentes, debido a que las propiedades obtenidas directamente de los materiales pueden presentar variaciones respecto de los valores asumidos inicialmente en los cálculos de diseño.

En México, la importancia de determinar experimentalmente el módulo de elasticidad se refleja en la existencia de procedimientos normalizados específicos. La norma mexicana NMX-C-128-ONNCCE-2020 establece el método para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto sometido a compresión, aplicable tanto a especímenes cilíndricos moldeados como a muestras extraídas de estructuras existentes. El procedimiento reconoce que la determinación del módulo elástico requiere someter el concreto a esfuerzos de compresión longitudinal y medir la relación entre esfuerzo y deformación. Esta normativa evidencia la necesidad de contar con procedimientos experimentales que permitan caracterizar la rigidez real del concreto y disponer de información confiable para su evaluación estructural (Secretaría de Economía, 2021).

En el Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones, mediante la Norma Técnica E.060 Concreto Armado, establece criterios para la determinación del módulo de elasticidad del concreto. Para concretos de peso unitario normal, la norma permite estimar (E_c) mediante la expresión $E_c = 15000 \sqrt{f_c}$, expresada en kg/cm, mientras que también contempla la posibilidad de utilizar otros valores cuando estos se encuentren suficientemente respaldados por resultados de laboratorio. Esta última consideración resulta particularmente importante para investigaciones orientadas a determinar el módulo de elasticidad real de un concreto empleado en una obra, porque reconoce que los resultados experimentales pueden proporcionar valores diferentes de las estimaciones convencionales. Por tanto, para un concreto especificado con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, no resulta técnicamente suficiente asumir que el comportamiento real del material será necesariamente idéntico al comportamiento estimado mediante una expresión normativa, especialmente cuando se pretende evaluar su influencia en elementos estructurales sometidos a flexión (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2009).

En el ámbito de Ayacucho también se han desarrollado investigaciones relacionadas con las propiedades mecánicas del concreto y su aplicación en infraestructura. Por ejemplo, Surco Bellido (2025), en una investigación realizada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, evaluó el comportamiento físico-mecánico de un concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando cemento puzolánico y fibras de bambú, evidenciando el interés local por caracterizar experimentalmente las propiedades del concreto empleado en obras de infraestructura. Asimismo, investigaciones desarrolladas en la región han considerado el módulo de elasticidad como parámetro de diseño del concreto, lo que demuestra su importancia dentro de las evaluaciones estructurales realizadas en el contexto local.

En particular, la investigación de Neira(2023), desarrollada en la región Lambayeque, constituye un antecedente nacional relevante porque evaluó experimentalmente concretos de $f'_c = 175, 210 \text{ y } 280 \text{ kg/cm}^2$ empleando diferentes agregados de la región. Para el concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, reportó una resistencia a los 28 días de $228,4 \text{ kg/cm}^2$ y un módulo de elasticidad de $194\,779,5 \text{ kg/cm}^2$, evidenciando que el valor del módulo elástico puede ser caracterizado experimentalmente para una determinada combinación de materiales. Este resultado resulta pertinente para la presente investigación, debido a que pone de manifiesto la necesidad de verificar el (E_c) correspondiente al concreto efectivamente utilizado en una obra antes de asumir que un valor teórico representa exactamente su comportamiento real.

El módulo de elasticidad del concreto se encuentra vinculado al marco normativo que regula el diseño y control del concreto estructural. En el Perú, la principal referencia normativa es la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones, emitida por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la cual establece expresiones para estimar E_c y permite emplear valores obtenidos experimentalmente cuando estos se encuentren

respaldados por resultados de laboratorio. Complementariamente, la determinación experimental del módulo elástico puede realizarse mediante procedimientos normalizados como el ASTM C469/C469M, referido al método para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto sometido a compresión. Por tanto, el control de esta propiedad debe entenderse como parte del sistema de aseguramiento de calidad del concreto, involucrando las especificaciones del expediente técnico, las normas aplicables, el laboratorio de ensayo, la supervisión y los responsables de la ejecución de la obra. La existencia de estos mecanismos permite contrastar los valores asumidos en el diseño con las propiedades efectivamente obtenidas del material.

En la construcción del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, 2024, se empleó concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en diversos elementos estructurales sometidos a flexión. Sin embargo, el módulo de elasticidad real (E_c) puede variar según las características de los agregados, la dosificación, la relación agua/cemento, las condiciones de curado y la edad del concreto. Por ello, el valor real de E_c podría diferir del considerado en el expediente técnico o del estimado mediante expresiones normativas.

Esta diferencia puede influir principalmente en la rigidez y las deformaciones de los elementos estructurales sometidos a flexión, generando variaciones en los resultados del análisis y diseño. En consecuencia, resulta necesario determinar experimentalmente el módulo de elasticidad del concreto utilizado en la obra, emplear dicho valor en el rediseño de los elementos a flexión y comparar los resultados obtenidos con los establecidos en el expediente técnico.

El problema puede estar asociado al uso de valores teóricos o normativos de E_c , la variabilidad de los materiales empleados y la ausencia de una verificación experimental específica del concreto utilizado en la construcción. Estas condiciones pueden generar diferencias

entre el comportamiento estructural previsto y el comportamiento estimado mediante las propiedades reales del material. Por ello, la investigación busca determinar el E_c real y establecer su incidencia en el diseño por flexión de los elementos estructurales evaluados.

La investigación se justifica por la necesidad de conocer el comportamiento real del concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleado en la construcción del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, particularmente respecto a su módulo de elasticidad. Si bien el diseño estructural emplea valores establecidos mediante expresiones normativas o especificaciones del expediente técnico, las propiedades reales del concreto pueden variar debido a las características de los agregados, dosificación, relación agua/cemento, condiciones de elaboración, colocación y curado. Por ello, determinar experimentalmente el módulo de elasticidad permitirá verificar su correspondencia con el valor utilizado en el diseño y establecer su influencia en los elementos sometidos a flexión. Los resultados permitirán comparar el diseño original con un rediseño basado en las propiedades reales del material.

Desde el punto de vista teórico, la investigación permitirá profundizar en el conocimiento de la relación existente entre el módulo de elasticidad del concreto y el comportamiento estructural de los elementos sometidos a flexión. El módulo de elasticidad constituye un parámetro fundamental para caracterizar la rigidez del concreto y participa en la evaluación de deformaciones y comportamiento de los elementos estructurales. La investigación permitirá contrastar los valores obtenidos experimentalmente con los valores estimados mediante las expresiones establecidas en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado, contribuyendo a determinar el grado de correspondencia entre la formulación teórica y el comportamiento real del concreto empleado en una obra específica.

La investigación tiene una aplicación práctica porque permitirá determinar si el módulo de elasticidad real del concreto utilizado en el Pabellón de Ingeniería Agrícola presenta diferencias respecto al valor considerado en el expediente técnico. A partir del valor experimental obtenido, se realizará el rediseño de los elementos estructurales sometidos a flexión, permitiendo identificar las posibles variaciones en los resultados del análisis y diseño. Esta información podrá ser útil para la evaluación técnica de la estructura, el control de calidad del concreto y la toma de decisiones relacionadas con futuras obras de características similares.

La investigación se justifica metodológicamente porque permitirá aplicar una metodología basada en la determinación experimental del módulo de elasticidad del concreto, seguida del análisis estructural y rediseño de elementos sometidos a flexión. El procedimiento comprenderá la obtención de muestras representativas, realización de ensayos de laboratorio conforme a procedimientos técnicos establecidos, procesamiento de los resultados y comparación con los valores utilizados en el expediente técnico. La metodología propuesta podrá constituir un procedimiento de referencia para investigaciones posteriores que busquen evaluar experimentalmente propiedades mecánicas del concreto y su influencia en el análisis y diseño estructural.

La investigación presenta una justificación social debido a que la calidad y seguridad de las edificaciones destinadas al servicio educativo tienen relación directa con la protección de estudiantes, docentes, personal administrativo y demás usuarios. Una adecuada caracterización de los materiales empleados en los elementos estructurales contribuye a fortalecer la confiabilidad de las edificaciones y a reducir incertidumbres asociadas al comportamiento estructural. En ese sentido, evaluar el módulo de elasticidad real del concreto y verificar sus efectos en el diseño por

flexión contribuye indirectamente a promover edificaciones educativas más seguras, confiables y técnicamente sustentadas.

Para alcanzar la presentes investigación, se ha planeado el siguiente objetivo general.

Objetivo general

- Evaluar el Módulo de Elasticidad del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, y diseñar los elementos por flexión de la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.

Objetivos específicos

1. Determinar el módulo de Elasticidad del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}$ en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.
2. Rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.
3. Determinar la relación de los cálculos rediseñados obtenidos con el expediente técnico en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes internacionales

Sánchez et al. (2020), desarrollaron una investigación experimental cuyo objetivo fue determinar el módulo estático de elasticidad del hormigón elaborado con agregados provenientes de la mina San Roque, ubicada en Imbabura, Ecuador, considerando la importancia de este parámetro para el cálculo y control de desplazamientos y deformaciones en estructuras de hormigón armado. Para ello elaboraron especímenes de hormigón empleando agregados de dicha mina y determinaron experimentalmente el módulo estático de elasticidad mediante el método ASTM C469. Los resultados evidenciaron que el valor obtenido experimentalmente presentó un comportamiento que no podía ser adecuadamente representado mediante la ecuación propuesta por el ACI para hormigones de peso normal. Como conclusión, los autores señalaron que la expresión del ACI para calcular el módulo estático de elasticidad no resultaba aplicable directamente al hormigón elaborado con los agregados de la mina San Roque, evidenciando la influencia de las características del agregado sobre el módulo de elasticidad.

Este antecedente aporta fundamento para determinar experimentalmente el módulo de elasticidad del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizado en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, en lugar de asumir únicamente el valor obtenido mediante una expresión normativa. Asimismo, respalda la necesidad de comparar el módulo experimental con el módulo teórico utilizado en el expediente técnico, debido a que las características de los agregados

pueden generar diferencias relevantes en el valor de E_c y, consecuentemente, en la evaluación del comportamiento estructural.

Ortiz et al. (2021) desarrollaron un estudio orientado a evaluar la incertidumbre asociada al módulo de elasticidad del concreto producido en Colombia, considerando que este parámetro constituye una variable importante en el análisis y diseño estructural y puede afectar el desempeño estimado de estructuras de concreto reforzado. La metodología consistió en recopilar información experimental de diferentes investigaciones realizadas en varias regiones de Colombia y aplicar métodos de análisis estadístico bayesiano para ajustar modelos de predicción del módulo de elasticidad y estimar las incertidumbres asociadas a los parámetros y modelos. Los autores identificaron que el módulo de elasticidad depende de variables como la resistencia a compresión, el peso unitario y el tipo de agregado grueso, y señalaron que las ecuaciones existentes pueden presentar diferencias debido a las condiciones particulares de cada región. El estudio concluyó proponiendo modificaciones a las ecuaciones empleadas para estimar el módulo de elasticidad en Colombia, con el propósito de obtener valores más representativos de las condiciones reales del concreto producido en el país.

El estudio aporta sustento para analizar la diferencia entre el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente y el calculado mediante la ecuación de la NTP E.060. Además, permite fundamentar que el uso de una ecuación general puede generar incertidumbre cuando no considera las características particulares de los materiales y condiciones locales. Esta consideración es relevante para el presente estudio, debido a que el módulo real obtenido para el concreto del pabellón de Ingeniería Agrícola será utilizado posteriormente para efectuar el rediseño de los elementos sometidos a flexión.

Ramírez et al. (2021) realizaron una investigación experimental orientada a determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson del mortero cemento-arena utilizado en la ciudad de Oaxaca y su área conurbada. El estudio buscó generar información experimental sobre las propiedades elásticas de los materiales empleados localmente, considerando que estos parámetros son importantes para caracterizar el comportamiento mecánico de los materiales de construcción. La investigación incluyó la elaboración y ensayo de especímenes de mortero para determinar experimentalmente el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Los resultados permitieron establecer valores experimentales de ambas propiedades para las condiciones estudiadas, concluyendo que la caracterización mediante ensayos permite disponer de parámetros representativos de los materiales empleados en una determinada zona.

Este antecedente contribuye metodológicamente al presente estudio al sustentar la importancia de obtener experimentalmente las propiedades elásticas de los materiales y no depender exclusivamente de valores teóricos establecidos en normas. Su aporte se relaciona principalmente con el primer objetivo específico, referido a determinar el módulo de elasticidad real del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleado en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Ruiz (2021) desarrolló una investigación experimental cuyo objetivo fue determinar el módulo de elasticidad del concreto simple elaborado con cemento tipo MS y agregados procedentes de las canteras Tres Tomas y Pátapo-La Victoria, considerando resistencias de diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Para ello realizó la caracterización de los agregados mediante ensayos de granulometría, humedad, peso específico y absorción, y posteriormente elaboró 240 probetas, de las cuales 120 fueron utilizadas para determinar la

resistencia a la compresión y las restantes para determinar el módulo de elasticidad. Los resultados evidenciaron diferencias entre el módulo de elasticidad calculado mediante la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones y el obtenido experimentalmente, siendo las diferencias de 6,92 % para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y 5,44 % para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. El autor concluyó que el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente presenta diferencias respecto al valor normativo y que estas diferencias deben considerarse cuando se utilizan materiales de determinadas condiciones regionales.

Este constituye uno de los antecedentes nacionales más importantes para el presente estudio, debido a que analiza específicamente concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, igual que la investigación propuesta. Sus resultados permiten establecer como referencia la posible diferencia entre el módulo experimental y el valor calculado mediante la NTP E.060. Asimismo, servirá para discutir el resultado del primer objetivo específico y justificar posteriormente la utilización del módulo experimental en el rediseño de los elementos sometidos a flexión.

Yaipen (2022) desarrolló una investigación experimental cuyo objetivo fue determinar las propiedades mecánicas del concreto simple de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ utilizando materiales representativos de la región de Piura, así como determinar el módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, coeficiente de Poisson, módulo de corte y curva esfuerzo-deformación. Para ello se estudiaron las canteras más representativas de la región, identificándose Cerro Mocho y Sojo como fuentes para los agregados, además de analizar los tipos de cemento empleados en las obras de la zona. La investigación permitió obtener información experimental sobre las propiedades mecánicas del concreto producido con materiales locales y establecer valores de sus propiedades elásticas y resistentes. El autor concluyó que las características de los

materiales de procedencia regional deben ser consideradas en la determinación de las propiedades mecánicas del concreto.

Este antecedente aporta evidencia de que el módulo de elasticidad del concreto puede variar según los materiales empleados en una determinada región. Para la presente investigación resulta importante porque permitirá interpretar el módulo experimental obtenido para el concreto utilizado en el pabellón de Ingeniería Agrícola considerando las características de los agregados y materiales empleados en Ayacucho. Además, sirve como referencia para comparar el comportamiento del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ obtenido experimentalmente con valores provenientes de otras regiones del país.

Escobedo y Torres (2022) realizaron una investigación experimental en Arequipa con el objetivo de determinar la influencia del material pasante de la malla N.º 200 sobre el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y resistencia a la compresión de un concreto estructural de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El estudio tuvo enfoque cuantitativo, alcance explicativo y diseño experimental; se elaboraron 25 probetas cilíndricas, correspondientes a una mezcla patrón y mezclas experimentales con reemplazos de 5 %, 12,5 %, 15 % y 17,5 % del agregado fino por material pasante de la malla N.º 200. Los resultados mostraron que las mezclas experimentales alcanzaron resistencias a compresión superiores al diseño estándar y que los porcentajes de 12,5 %, 15 % y 17,5 % produjeron valores de módulo de elasticidad superiores al concreto patrón, mientras que el porcentaje de 5 % presentó un comportamiento similar al patrón. Los autores concluyeron que la presencia y proporción del material pasante de la malla N.º 200 puede modificar las propiedades mecánicas y el módulo de elasticidad del concreto.

Este antecedente demuestra que incluso manteniendo la misma resistencia de diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, las características y proporciones de los materiales pueden modificar el módulo

de elasticidad. Esto es relevante para el presente estudio porque el valor real de E_c obtenido mediante ensayos será utilizado en el rediseño de los elementos a flexión, permitiendo determinar si las diferencias respecto al módulo empleado en el expediente técnico generan modificaciones en los resultados del diseño estructural.

1.1.3. Antecedentes regionales y locales

Escarcena (2023) desarrolló una investigación experimental en Ayacucho cuyo objetivo fue evaluar la influencia de fibras de acero en las propiedades mecánicas del concreto empleado en pavimentos rígidos. Para ello utilizó agregados de la cantera Chillico y cemento Portland tipo I, realizando el diseño de mezcla mediante el método ACI 211. Se elaboró una mezcla patrón con resistencia especificada de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y mezclas con adición de fibras de acero en proporciones de 5 %, 7,5 % y 10 % respecto al peso del cemento. Se realizaron ensayos de compresión axial y tracción indirecta a los 7, 14 y 28 días, además de ensayos de flexión a los 28 días. Los resultados permitieron determinar la influencia de las fibras sobre la resistencia a compresión, tracción y flexión, identificándose una proporción óptima de fibras para el pavimento estudiado. El estudio concluyó que la incorporación de fibras puede modificar favorablemente determinadas propiedades mecánicas del concreto y contribuir al desempeño del pavimento rígido.

Este antecedente constituye una referencia regional importante porque utiliza concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y agregados de la cantera Chillico, Ayacucho, demostrando que las propiedades mecánicas del concreto producido con materiales locales pueden ser determinadas experimentalmente. Su principal aporte será servir como referencia regional para interpretar el comportamiento resistente del concreto utilizado en la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

y, particularmente, para relacionar las propiedades mecánicas con el comportamiento de elementos sometidos a flexión.

Cuba (2024) realizó una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño experimental, cuyo objetivo fue evaluar la influencia de la incorporación de fibra de Agave sisalana sobre la resistencia mecánica del concreto para pavimentos rígidos en Ayacucho. La población experimental estuvo conformada por 54 probetas cilíndricas y 18 vigas, evaluadas a edades de 7, 14 y 28 días, considerando cinco dosificaciones de fibra: 1 %, 2 %, 3 %, 4 % y 5 % como sustitución del cemento. Los resultados mostraron que la incorporación de 3 % de fibra produjo mejoras en las propiedades mecánicas del concreto; a los 28 días, la resistencia a compresión superó en aproximadamente 36 % al concreto patrón y la resistencia a flexión alcanzó valores aproximadamente 28 % superiores. La investigación concluyó que la fibra de Agave sisalana presentó una influencia positiva principalmente sobre las propiedades mecánicas del concreto, aunque su efecto sobre las propiedades físicas fue menor.

Este estudio aporta información regional sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas del concreto bajo diferentes condiciones de composición y dosificación. Aunque no estudia directamente el módulo de elasticidad, sus resultados evidencian que las características de los componentes de la mezcla pueden modificar el comportamiento resistente y flexional del concreto. Esta referencia permitirá complementar la discusión del presente estudio, particularmente al analizar por qué el módulo de elasticidad experimental obtenido en Ayacucho puede diferir del valor teórico empleado en el expediente técnico.

Argumedo (2024) desarrolló una investigación experimental en Huamanga, Ayacucho, cuyo objetivo fue determinar la resistencia mecánica a flexión, tracción y compresión de un concreto de ultra alto desempeño reforzado con fibras de acero y elaborado con agregados

locales. La investigación consideró 120 muestras, correspondientes a 80 probetas cilíndricas y 40 vigas, y evaluó cuatro dosificaciones con 0 %, 1 %, 1,5 % y 2 % de fibras metálicas de acero. Entre los factores controlables se consideraron la relación agua/cemento, granulometría del agregado, tiempo de curado y cantidad de fibra. Los resultados mostraron incrementos importantes en las resistencias a compresión, tracción y flexión conforme se modificó la dosificación de fibras, alcanzándose valores máximos de 1170,95 kg/cm² en compresión, 146,98 kg/cm² en tracción y 432,978 kg/cm² en flexión. El autor concluyó que el concreto estudiado permitió mejorar notablemente las propiedades mecánicas, aunque variables como la granulometría, relación agua/cemento, curado y cantidad de fibra tuvieron una participación determinante en los resultados.

El antecedente demuestra, en condiciones de Ayacucho, que las propiedades mecánicas del concreto están condicionadas por las características de los materiales y por las variables de la mezcla. Aunque corresponde a un concreto de ultra alto desempeño y no al concreto convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, constituye una referencia regional para sustentar que los parámetros mecánicos obtenidos experimentalmente deben analizarse considerando las condiciones locales. Esta evidencia resulta útil para interpretar el módulo de elasticidad real obtenido en el presente estudio y para sustentar la necesidad de verificar su incidencia en el rediseño de los elementos sometidos a flexión.

1.2. Bases teorías

1.2.1. Concreto

Rivva (1992) en, menciona que el agregado denominado comúnmente concreto es una mezcla natural, en proporciones arbitrarias, de agregados finos y gruesa procedente de río o cantera según la N.T.P. 339.012, en lo que sea aplicable se seguirán para el concreto

las recomendaciones correspondientes a los agregados finos y gruesos. El concreto se puede definir como una unión artificial del material cementante o aglutinante, como es en nuestro caso el cemento Portland, los agregados, tanto fino como grueso, agua y de ser requerido por el proyectista se podrá adicionar algún aditivo que mejore y/o amplíe las propiedades del concreto. Se describe los siguientes elementos:

1.2.2. Cemento

Es un componente fundamental del concreto, el cual es fabricado a partir de minerales calcáreos y arcillosos, como pueden ser la piedra caliza y elementos arcillosos que contengan alúmina y sílice. Para la elaboración del cemento, estos materiales deberán ser dosificados y mezclados de manera correcta, para su posterior paso por el horno, el cual dará como producto el Clinker. El clinker es el material precedente al cemento Portland, para ser llamando como tal se le debe agregar una cantidad equivalente de yeso, entre el 2-4% del peso de la mezcla. El cemento, de acuerdo a la norma ASTM C-150, se encuentra clasificado en 5 tipos, enumerados sucesivamente del I al V. En el presente proyecto no se abarcará específicamente las definiciones y el uso de cada tipo de cemento, pero para el autor parece conveniente dar a conocer su existencia.

1.2.3. Agregados

Son los elementos más predominantes en la elaboración de concreto, pueden abarcar hasta un 75% de la mezcla, la razón principal de este porcentaje es que este material es empleado de relleno para economizar la mezcla. Pueden definirse como aquellos materiales inertes, con características propias tales como resistencia y durabilidad, que no afectan el

transcurso para el endurecimiento del cemento, así mismo estos materiales deben avalar una buena adherencia con la pasta de cemento endurecida, esta sería el cemento y el agua.

Estos materiales presentan características particulares, de acuerdo a la mineralogía y condición física de sus partículas; las propiedades de los agregados son claramente influyentes en las propiedades del concreto debido al gran porcentaje de estos en el material, respecto a este punto se habla más adelante de la presente investigación. Existen dos clasificaciones para los agregados, estas se encuentran en función del porcentaje de partículas que pasa las mallas normativas de la N.T.P. 400.037. Los agregados presentan diferentes clasificaciones como puede ser su naturaleza, su procedencia o su tamaño máximo de partículas. Para el diseño de mezclas el criterio más utilizado es el del tamaño de las partículas; esto origina dos sub-clasificaciones, las cuales serían, agregado fino; aquellos elementos finos cuyo tamaño de partícula es menor a 4.76 mm y mayor a 0.076 mm, y agregado grueso cuyo tamaño máximo de partícula es superior a 4.76 mm.

1.2.4. Agua

Es uno de los componentes esenciales para el concreto, este cumple una doble función para la elaboración del concreto, la relevancia de este material está en función a la resistencia a la compresión del concreto, debido a la relación agua-cemento(a/c), la trabajabilidad y otras propiedades del concreto endurecido.

Es quizás el elemento más importante del concreto, por ende, para su utilización este debe presentar limpieza y estar libre de cantidades nocivas de químicos o sustancias tóxicas, tales como: aceites, ácidos, materia orgánica, etc.

1.2.5. Propiedades de los materiales

1.2.5.1. Peso Especifico

Vargas (2017), define al peso específico como la proporción entre el peso de las partículas y el volumen de ellas, suponiendo que no existen los vacíos entre ellas. Para la obtención del parámetro se debe realizar los procedimientos indicados en la N.T.P. 400.021 y N.T.P. 400.022, para agregados gruesos y finos respectivamente.

1.2.5.2. Peso unitario

El peso unitario de los agregados es el cociente de la determinación del peso de las partículas del agregado y el volumen de las mismas, a diferencia del peso específico, para este análisis si se toma en consideración la existencia de vacíos en el agregado dentro del volumen total. La inclusión de los vacíos en el volumen para el estudio genera que las partículas se acomoden entre sí. El procedimiento para la obtención del parámetro debe hacerse de acuerdo a la N.T.P. 400.017(2006).

1.2.5.3. Absorción

Es la capacidad que tienen los agregados de saturar su cuerpo con agua al interior de ellos mismos. La absorción es una propiedad dependiente a la porosidad que tendrá el material; sin embargo, no se llenan completamente de agua los poros, ya que, además del líquido este se llenará el espacio con aire atrapado. El procedimiento para la obtención del parámetro debe hacerse de acuerdo a la N.T.P. 400.021. y la N.T.P. 400.0220., para agregado grueso y agregado fino respectivamente.

1.2.5.4. Peso unitario

El peso unitario de los agregados es el cociente de la determinación del peso de las partículas del agregado y el volumen de las mismas, a diferencia del peso específico, para este análisis si se toma en consideración la existencia de vacíos en el agregado dentro del

volumen total. La inclusión de los vacíos en el volumen para el estudio genera que las partículas se acomoden entre sí. El procedimiento para la obtención del parámetro debe hacerse de acuerdo a la N.T.P. 400.017.

1.2.5.5. Porosidad

La palabra “poro” se define como el espacio no ocupado por materia sólida en el agregado. La norma ASTM C-70 no establece ningún criterio para evaluarla, sin embargo, existen diferentes análisis complejos y eficaces, pero con una validez relativa. Vargas da a conocer que una manera de determinar el parámetro es mediante el ensayo de la porosidad. La porosidad es una propiedad importante ya que, esta influye en la estabilidad química, la resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción, permeabilidad de las partículas, las cuales disminuirán conforme aumente la porosidad del agregado. Además, las peculiaridades de los poros permitirán conocer la capacidad y velocidad de absorción, facilidad de drenaje, el área y volumen de materia del agregado.

1.2.6. Mezclado del concreto

El mezclado del concreto según Harmsen (2019) afirma: “Es el proceso que se basa en recubrir el agregado con la pasta de cemento hasta obtener una masa uniforme y debe ser efectuado en mezcladoras tales como: la de volteo, la inversa y la de artesa. El tamaño de la mezcladora dependerá en función del volumen de concreto a batir.

El tiempo mínimo de mezclado del concreto está de acuerdo con la cantidad de mezcla a preparar y del número de revoluciones de la mezcladora, y se mide a partir del momento en que todos los insumos estén en la máquina. Según el código ACI recomienda un tiempo de mezcla de 90 segundos para un volumen de 0.7 m³ . (p. 16)

1.2.7. *Transporte y colocación del concreto*

Según Harmsen(2019),El concreto debe transportarse de tal manera que se prevenga la segregación y pérdida de materiales. La colocación debe efectuarse en forma continua mientras el concreto se encuentra en estado plástico, evitando la formación de juntas frías. La compactación o vibrado del concreto consiste en eliminar el exceso de aire atrapado en la mezcla, logrando una masa uniforme que se distribuya adecuadamente en el encofrado y alrededor del refuerzo y puede ser efectuada manualmente mediante el chuceo o haciendo uso de vibradores.

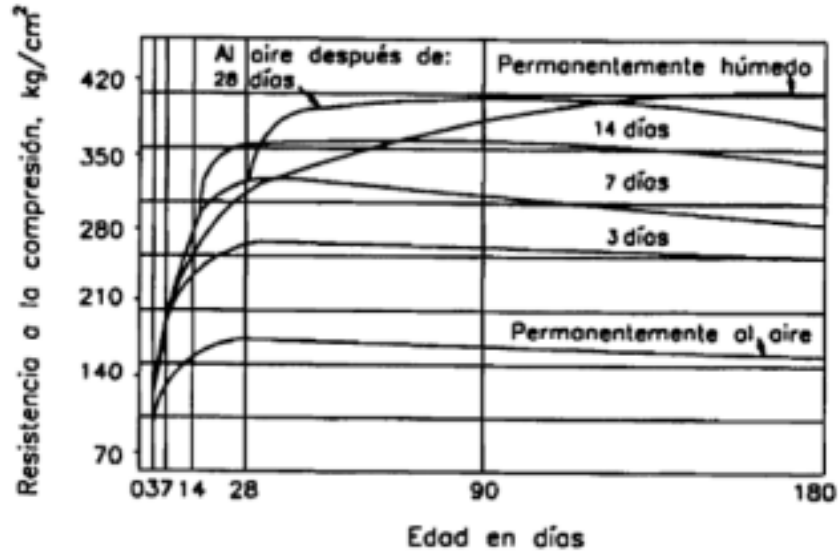
1.2.8. *Curado del concreto*

El tiempo de curado necesario deberá ser según indica Harmsen (2019), quien señala que como “un mínimo, de siete días para el cemento Portland normal (ACI5.11.1). Si se usa cementos de fraguado lento, este periodo se debe incrementar, mientras que, si se utiliza cementos de fragua rápida, puede disminuir, pero nunca a menos de tres días (ACI-5.11.2). En caso de concretos de alta resistencia, el curado debe iniciarse a edad temprana para conseguir mejores resultados” (p. 20).

En la figura 1, se aprecia el efecto que produce el curado en la resistencia del concreto según el número de días transcurridos.

Figura 1

Imagen sobre efecto del tiempo del curado del concreto en la resistencia a la compresión.



Fuente: Harmsen(2019);El concreto y sus componentes

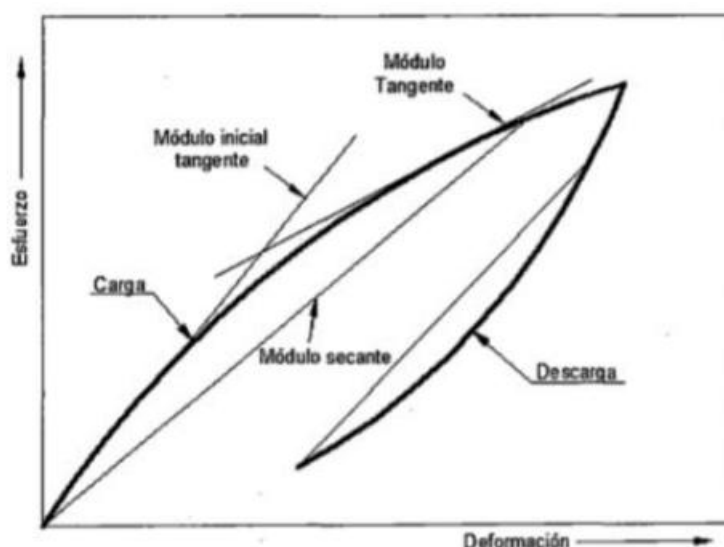
1.2.9. *Módulo de elasticidad del concreto*

En resistencia de materiales siempre se ha explicado que el E_c es la relación que existe entre una fuerza F_i y una deformación σ , es decir; la pendiente de la curva esfuerzo deformación que origina esa relación; como se conoce la resistencia a la tracción que presenta el concreto es demasiado baja, por ello una de las formas de medir el parámetro de estudio es mediante la prueba estándar de compresión basada en la Norma ASTM C469 (American Society for Testing and Materials), que explica que se debe aplicar una carga axial de manera gradual hasta que la probeta falle, mayormente el ensayo es aplicado hasta el 40% f'_c del concreto, debido a que es el estado límite de la máxima resistencia a la rotura; ya que como se puede observar en la figura 3 al aumentar cargas mayores al 40% del f'_c , el material deja de presentar elasticidad y ocurre la elastoplasticidad, como se puede ver al disminuir sus pendientes debido a los ciclos de carga y descarga en incremento. La figura 2 muestra la curva esfuerzo vs. deformación del concreto, en ella se aprecia que el

módulo tangente y el módulo secante presentan una gran similitud respecto al parámetro en estudio; el módulo tangente inicial es aquel que corresponde al esfuerzo nulo, el módulo tangente es la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en cualquier punto y la recta secante es la pendiente que parte del origen a cualquier otro punto de la curva, este valor se realiza hasta el 40% del f'_c del concreto.

Figura 2

Representación gráfica de la relación esfuerzo vs deformación para le concreto simple.



Fuente: Neville y BROOKS(2010),tecnología de concreto

“El módulo de elasticidad del concreto (E_c) ha sido considerado como un factor importante en el diseño de estructuras de concreto”. Este parámetro refleja la habilidad del concreto para poder presentar carácter elástico hasta un determinado punto. Esto permitirá ver con que fuerzas, mayormente originadas por el sismo, la estructura pasará de un estado elástico a uno inelástico; dejando así de cumplir la Ley de Hooke.

1.3. Análisis estadístico

Según el ACI 214(2017) menciona:

Los conceptos estadísticos que se describen son aplicables al análisis de otros resultados de ensayos comunes del concreto, que incluyen la resistencia a la flexión, el asentamiento, el contenido de aire, la densidad, el módulo de elasticidad, y demás ensayos que se usan para evaluar el concreto y sus componentes. La presente guía supone que los resultados de los ensayos al concreto se ajustan a una distribución normal.(pág. 1)

- Promedio: la resistencia promedio de todos los ensayos individuales.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

- Variación porcentual: Es un indicador de mide cuando se aleja un valor respecto a un valor de referencia Promedio: la resistencia promedio de todos los ensayos individuales.

$$\%Variacion = \frac{|Valor_{calculado} - Valor_{expediente}|}{Valor_{expediente}} \quad (2)$$

- Desviación estándar: la medida de dispersión generalmente reconocida, es la raíz cuadrada media de la desviación de las resistencias, con relación a su promedio. También se conoce como la desviación estándar de mezcla a mezcla.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n - 1}} \quad (3)$$

- Coeficiente de variación: la desviación estándar, expresa como un porcentaje de la resistencia promedio.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (4)$$

1.4. Resistencia a flexión

Se refiere al agrietamiento del material generando esfuerzos internos de tracción, el concreto resiste mucho más a compresión que a flexión, por tal razón se debe fortalecer dicho esfuerzo interno utilizando otros materiales que conjuntamente proporcione la resistencia requerida, es importante estudiar ya que “ La resistencia a la flexión es uno de los factores más importantes que se tienen, ya que nos puede identificar la capacidad del concreto a resistir carga sin producir una deformación, hasta llegar al punto de rotura, este el punto máximo en donde el concreto falla. Para el presente proyecto se realizará el gran reto de reemplazar las altamente usadas barras de acero por un elemento de madera mediante una prueba a flexión (Ottazzi, 2011).

1.4.1. Factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto

- Porosidad del concreto.
- Porosidad del agregado.
- Módulo de elasticidad de los agregados.

1.5. Diseño de vigas

Son los elementos estructurales que transmiten las cargas de las losas hacia las columnas o muros. Esta acción da como resultado la presencia de momentos flectores y fuerzas cortantes a lo largo de la longitud de la viga.

Generalmente las vigas forman parte de los denominados ejes de la estructura, teniendo las columnas ubicadas en sus intersecciones. El conjunto formado por las vigas y las columnas recibe el nombre de pórticos. (RNE 060)

Las vigas se diseñan para resistir esfuerzos por flexión y por cortante considerando cargas de gravedad, muerta y viva, aplicadas en ellas, y las cargas de sismo que éstas absorben. (RNE 060)

1.5.1. *Falla de Tracción, compresión y balanceada*

De acuerdo a figura 3 se muestra los tres tipos de falla de los elementos a flexión, por simplicidad en una sección rectangular sin acero en compresión, los tres tipos de falla que puede experimentar una sección de concreto armado sometido a flexión si fuera llevada hasta la falla. La diferencia entre los tres tipos de estiba en la deformación del acero y en la posición del eje neutro cuando la sección alcanza la falla.

a) Falla de tracción

Se le conoce también con el nombre de sección subreforzada. En este caso, el acero entra en fluencia antes de que el concreto alcance la deformación máxima (ϵ_{cu}). La falla de tracción es dúctil, la sección tiene capacidad de disipación de energía y de rotación inelástica (Ottazzi, 2011).

b) Falla balanceada

En un caso particular que marca el límite entre las fallas de tracción y de compresión.

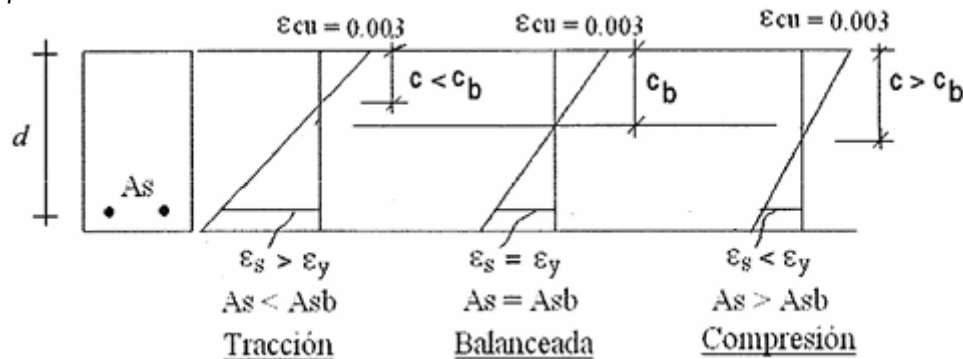
El concreto alcanza la deformación de agotamiento (ϵ_{cu}) en simultáneo con el acero, que alcanza la deformación de fluencia (ϵ_y). (Ottazzi, 2011).

Este estado permite calcular la cantidad de acero balanceado (A_{sb}) que produce la falla balanceada de una sección. Las normas fijan la cantidad máxima de refuerzo como un tracción del acero balanceado (Ottazzi, 2011).

c) Falla de compresión

Recibe también el nombre de sección sobrerreforzada. El concreto alcanza la deformación máxima (ϵ_{cu}), y el acero permanece aún elástico ($\epsilon_s < \epsilon_y$), es decir, sin haber llegado a la fluencia (Ottazzi, 2011).

Figura 3
Tipos de fallas



Fuente: Ottazzi(2011);Diseño de concreto armado

Una misma sección, dependiendo de la cantidad de acero en tracción, puede experimentar cualquiera de los tres tipos de falla.

Ocurre una falla balanceada si el concreto llega a una deformación unitaria (ϵ_{cu}) igual a 0.003 y el acero llega a un esfuerzo unitario igual al esfuerzo de fluencia del acero ($\epsilon_s = \epsilon_y$).

Si se coloca poco acero se llega a la falla en tracción, y si se coloca más acero se llega a la falla en compresión; se recomienda que la falla sea en tracción.

C_b : es la distancia del extremo de compresión hacia el eje neutro.

C : el valor del extremo de la compresión hasta donde llegue la deformación.

1.5.2. Ecuación para el diseño en flexión

Para el cálculo del acero por flexión, se va a utilizar la ecuación 5, Asimismo, el acero calculado debe estar en el rango del acero mínimo y máximo, ya que así garantiza la ductilidad según los requerimientos de la (Norma E0.60).

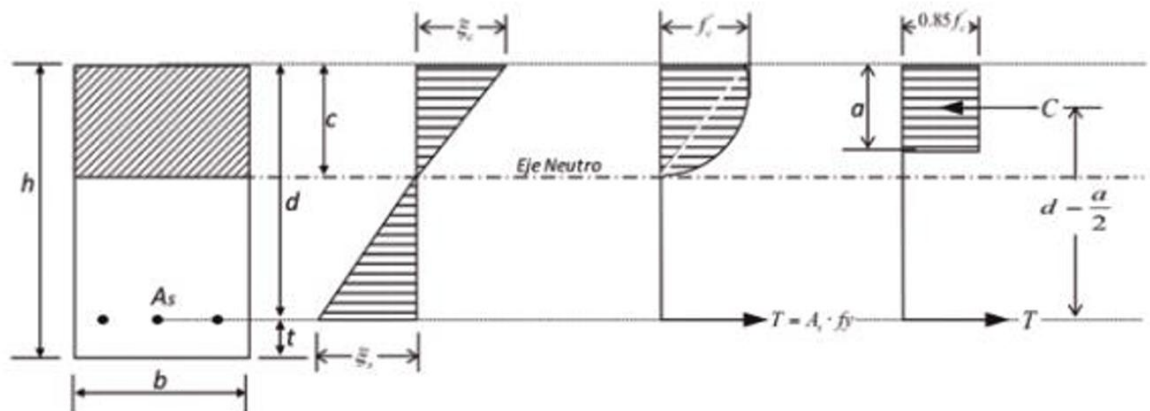
En este caso, de acuerdo con la figura, tenemos un peralte “d” que va desde la fibra de compresión hasta el eje de las barras de acero, donde la compresión se ubica en la parte superior y la tracción en la parte inferior. El valor de $\epsilon_{cu} = 0.003$.

Es la deformación máxima del concreto en compresión; en la parte inferior, en tracción, la deformación del acero debe ser mayor que la deformación máxima del acero $\epsilon_s > \epsilon_y$. El eje neutro es la parte central donde no hay tracción ni compresión.

En la figura también se muestra el valor T, que representa el esfuerzo del acero, y en la parte superior la compresión, ya que el esfuerzo de compresión del concreto se determina mediante el bloque equivalente de Whitney, considerando un valor “a”. Posteriormente, el valor de la tracción del acero se iguala al valor de la compresión del concreto.

Figura 4

Diagrama esfuerzo- deformación



Fuente: Artículo Científico, Gomez(2016)

De acuerdo a la gráfica analizamos por equilibrio

Por equilibrio.

Fuerza de compresión = Fuerza de Tracción

$$0.85 * f'c * b * a = As * fy \quad (5)$$

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * b} \quad (6)$$

Donde:

0.85: factor de transformación de Whitney.

f'c:esfuerzo de compresión del concreto.

f'y:esfuerzo de fluencia del acero.

a: el valor de la distancia tomado desde del eje neutro y se encuentre en el rango elástico.

b: base de la viga.

As: área del acero.

Reemplazando As por pbd se tiene:

$$a = \frac{\rho * d * fy}{0.85 * f'c} \quad (7)$$

Tomando momentos en la ubicación de la resultante en tracción (en la ubicación de As)

Mu= Fuerza de compresión x distancia.

$$Mu = (0.85 * f'c * b * a) * (d - \frac{a}{2}) \quad (8)$$

Reemplazando en la ecuación 7, denominando “w” a $\rho * fy / f'c$ se tiene:

$$a = - \frac{w * d}{0.85} \quad (9)$$

$$Mu = 0.85 * f'c * \frac{bw * d}{0.85} * (d - \frac{wd}{2 * 0.85}) \quad (10)$$

$$Mu = f'c * b * d^2 * w * (1 - 0.59w) \quad (11)$$

Para el diseño a flexión se toma $\phi = 0.9$, siendo Mu:

$$Mu = \phi * f'c * b * d^2 * w * (1 - 0.59w) \quad (12)$$

Determinación de limite balanceado

En el caso de la norma técnica peruana se indica que debe proveerse una cuantía mínima de refuerzo tal que el momento resistente sea 50% mayor al momento de agrietamiento

Acero mínimo:

Para el cálculo del acero mínimo está en la norma E060 donde nos dice que el acero mínimo en cualquier sección fisurada será por lo menos 1.20 veces el momento flector que causa el agrietamiento de la sección, es decir:

$$\phi Mn \geq 1.2 M_{cr} \quad (13)$$

Es decir, también que el momento ultimo

$$Mu = 1.2 M_{cr} \quad (14)$$

$$A_{min} = 0.7 * \frac{\sqrt{f'c} * bw * d}{f_y} \quad (15)$$

Donde;

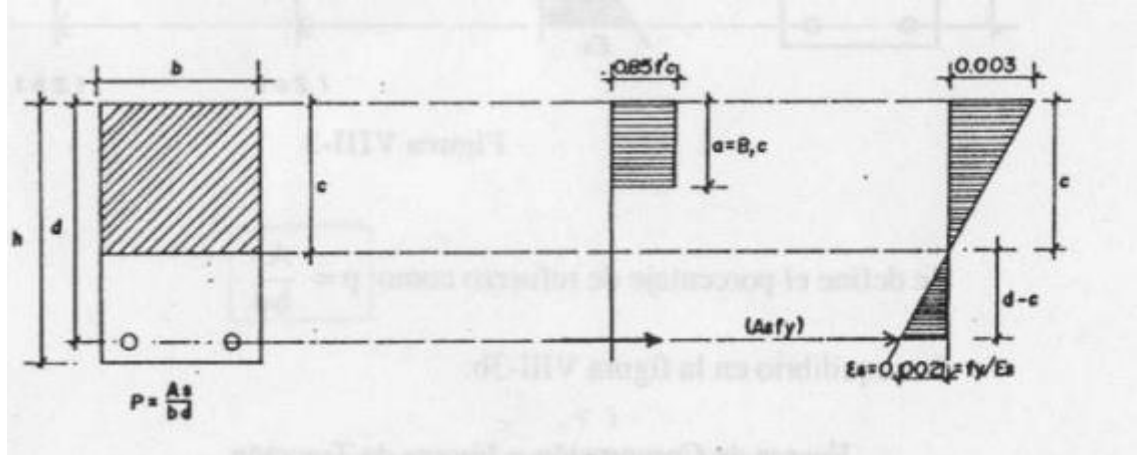
bw; ancho de la viga.

d: peralte efectivo.

Determinación de limite balanceado

Figura 5

Diagrama de esfuerzos



Fuente: Blanco (1994); Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado

Aplicando semejanza de triángulos tenemos, donde c es la distancia hasta el eje neutro y $\epsilon_s = 0.0021$ es la deformación del concreto.

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c} * \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \quad (16)$$

Despejando c, que se denomina c_b , para señalar el caso de la etapa balanceada se tiene:

$$c = c_b = \frac{0.003 * d}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} \quad (17)$$

Por equilibrio en el diagrama de fuerzas:

$$0.85 * f'_c * b * a = A_s * f_y \quad (18)$$

$$0.85 * f'_c * b * a = \rho * b * d * f_y \quad (19)$$

De donde:

$$\rho = \frac{0.85 * f'_c * a}{d * f_y} = \frac{0.85 * f'_c * \beta_1 * c}{d * f_y} \quad (20)$$

Reemplazado c_b en la ecuación de 20 se tiene:

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \quad (21)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{6000}{6000 + f_y} \quad (22)$$

$$C_b = \frac{0.003}{0.0021 + 0.003} * d \quad (23)$$

Con esta ecuación hallamos la cuantía balanceada

$$Asb = \frac{0.85 * f'c * (Cb * 0.85) * bw}{fy} \quad (24)$$

Acero máximo

La norma técnica recomienda para que los diseños sean subreforzados la cuantía máxima debe ser menor o igual al 75% de la cuantía balanceada.

$$Asmax = 0.75 Asb \quad (25)$$

ó

$$\rho_{max} \leq 0.75 \rho_b \quad (26)$$

Donde ;

Cb: distancias al eje neutro en la falla balanceada.

d: peralte efectivo.

Asb: área de acero para la falla balanceado.

1.6. Diseño de losas aligeradas

Las losas de concreto armado son elementos estructurales cuyas dimensiones en planta en comparación a su peralte son relativamente grandes. En las edificaciones, losas de entrepiso tienen dos funciones. La primera, soportar las cargas verticales referente a su propio peso,

acabado, divisiones y cargas vivas de acuerdo a su uso. La segunda, en el análisis sísmico las losas se consideran diafragmas rígidos que se desplazan sin deformación de su plano bajo el efecto de las cargas horizontales. Harmsen(2019).

1.6.1. Clasificación

Las losas pueden clasificarse de acuerdo a la orientación de sus planos de flexión, a su sistema constructivo:

- Losas macizas.
- Losas aligeradas.

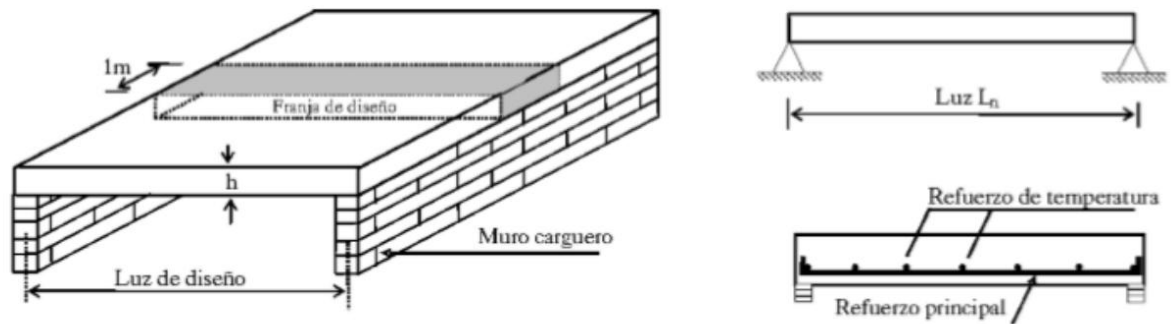
a) Losas macizas

Son aquellas losas que no tienen vacíos en su interior y se diseñan como vigas de ancho unitario. Es el sistema más convencional en la construcción de losas; sin embargo, no son convenientes si se trata de grandes luces. Debido a su poco espesor que tienen poca rigidez y vibran demasiado. Esto lo convierte en pesadas y antieconómicas ya que requiere aumentar el peralte para incrementar su rigidez. Harmsen(2019).

En la figura número 6 se muestra en un esquema representativo como se representa el análisis de una viga donde sus apoyos están en el muro portante y la luz neta es la distancia hasta los ejes centrales del muro.

Figura 6

Análisis y diseño de losas macizas unidireccionales



Fuente: Rochel (2007); Hormigón reforzado

b) Losas aligeradas

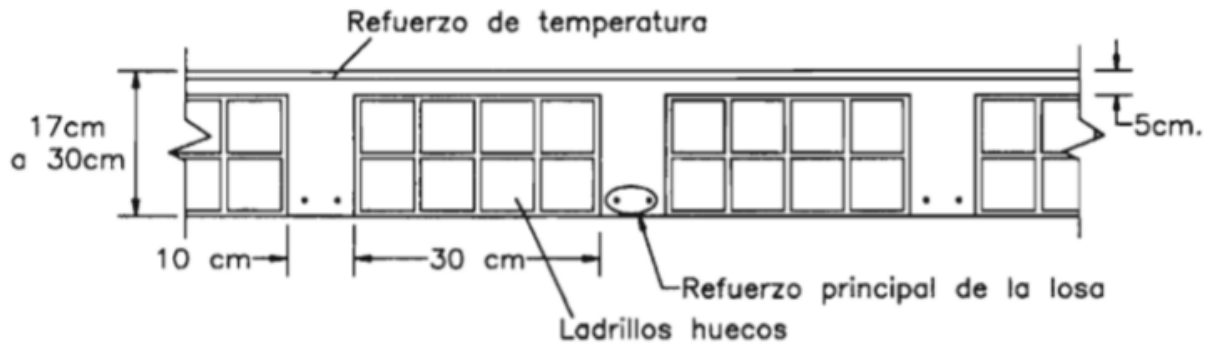
Consiste en una losa maciza de concreto, de 5 a 10 cm de espesor, apoyada en nervios o viguetas espaciados a distancias que oscilan entre 40 y 100 cm. Los nervios o viguetas llamadas vigas T permite salvar los problemas de una losa maciza, poca rigidez y vibración, siendo más ligera. Esto les permite ser más eficiente para cubrir grandes luces. (Harmsen, 2019)

La losa aligerada es recomendable para edificaciones pequeñas. Su construcción no requiere de un encofrado metálico para las viguetas a diferencia de una losa nervada. Esto porque el ladrillo de techo actúa como encofrado lateral. (Harmsen, 2019, p. 227).

En la figura número 7 podemos observar la losa aligerada en el centro tiene el aligerado en este caso puede ser un ladrillo huecos o teckonoport donde su función es que puedan encofrar de manera rápida y sencilla y la parte central encontramos las viguetas y cuenta con su acero de refuerzo y un acero transversal que va en los extremos.

Figura 7

Características geométricas de una losa aligerada



Fuente: Harmsen (2019); El concreto y sus componentes

1.6.2. Ecuación para el diseño por flexión

Las losas aligeradas están compuestas por viguetas de sección T espaciadas cada 40cm a lo largo del Paño y en una sola dirección. Por lo que, para el diseño de estos elementos se idealiza como viguetas simplemente apoyadas en cada paño.

Acero Positivo (Mu+)

$$As_{min+} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{fy} * bw * d \quad (27)$$

$$Cb = \frac{0.003bw}{0.0021 + 0.003} * d \quad (28)$$

$$Asb = \frac{0.85 * f'c(hf * be + (Cb * 0.85 - hf)bw)}{fy} \quad (29)$$

$$As_{max+} = 0.75 * Asb + \quad (30)$$

Donde:

bw: ancho de la viga.

d: peralte efectivo.

Acero Negativo (Mu-)

$$As_{min} = \frac{1.2 * M_{cr}}{\phi * f_y * (d - \frac{a_{min}}{2})} \quad (31)$$

$$M_{cr} = \frac{I * f_r}{c} \quad (32)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * f'_c * b_w}} \quad (33)$$

$$C_b = \frac{0.003 b_w}{0.0021 + 0.003} * d \quad (34)$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 * f'_c (h_f * b_e + (C_b * 0.85 - h_f) b_w)}{f_y} \quad (35)$$

$$A_{smax} = 0.75 * A_{sb} \quad (36)$$

1.7. Relación de módulo de elasticidad y área de acero mínimo

Para poder hallar el acero mínimo por flexión

$$M_u \min = 1.5 * M_{cr} \quad (37)$$

$$\phi M_n \min = 1.5 M_{cr} \quad (38)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}, \quad f_r = 2 * \sqrt{f'_c} \quad (39)$$

$$c = \frac{(bh) * \left(\frac{h}{2}\right) - A_s * (n - 1) * d}{b * h + A_s * (n - 1)} \quad (40)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (41)$$

$$I_{tr} = \frac{bh^3}{12} + (b * h) * \left(\frac{h}{2} - c\right)^2 + A_s(n - 1) * (d - c)^2 \quad (42)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_{tr}}{h - c} \quad (43)$$

Calculamos al acero:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 * f'_c * b}} = \quad (44)$$

Calculamos al acero mínimo:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y * (d - \frac{a}{2})} \quad (45)$$

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

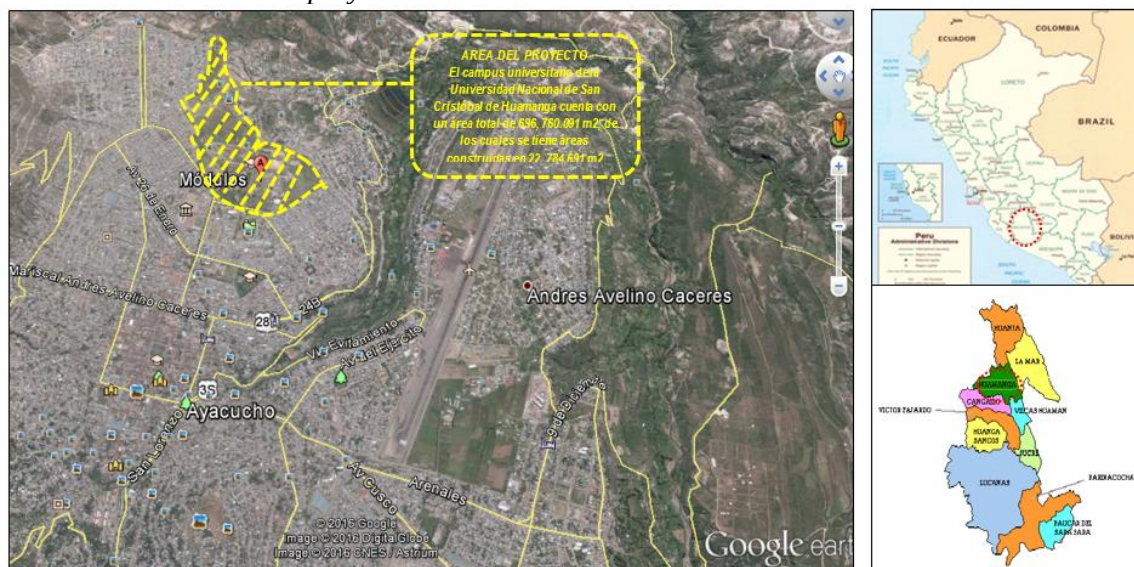
2.1.2. Zona de estudio

El estudio se realizará en el pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola Este trabajo se desarrolla en la región de Ayacucho, provincia de Huamanga y en el distrito Ayacucho En figura número 8 se muestra el mapa de ubicación.

2.1.3. Ubicación política y geográfica

Región	:	Ayacucho.
Provincia	:	Huamanga.
Distrito	:	Ayacucho.
Localidad	:	Ayacucho.
Unidad	:	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Figura 8
Macro localización del proyecto



Fuente: Obtenida Imagen Satelital_Google Earth(2024)

Figura 9
Micro localización del proyecto



Fuente: Obtenida Imagen Satelital_Google Earth(2024)

2.1.4. Características de la zona

- **Clima**

El clima es templado y seco, con una temperatura promedio de 17.5 °C y una humedad relativa promedio de 56 %. Este clima está considerado como adecuado para la vida. La temporada de lluvias se da entre noviembre y marzo (comprende el piso medio inferior de la zona andina, con presencia de heladas estacionales).

Puede considerársele como valle a mediana altura; en cuanto a la humedad se le puede considerar como zona semiárida. La cuenca no es muy amplia, está limitada por los contrafuertes de los Andes, cuyos cerros rodean la ciudad y no son muy altos.

- **Vientos**

Los vientos en el sector sierra tienen un comportamiento variable, en Huamanga la velocidad del viento promedio mensual varía entre 1,4 m/s y 7,9 m/s, con un promedio anual de 2,1 m/s. Los vientos en esta zona son débiles y su dirección varía permanentemente.

- **Precipitaciones**

la precipitación total anual en el ámbito del proyecto (provincia de Huamanga) se distribuye de manera irregular, definiéndose dos períodos claramente diferenciados, el primero de los cuales comprende el período de diciembre a marzo, en el cual ocurre aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales, mientras que el otro período de escasas lluvias comprende los meses de abril a noviembre, durante el cual sólo se presenta el 30% de la precipitación anual.

Promedio anual de precipitación es de 593 mm (Los valores extremos promedios anuales son de 268 mm para el mínimo y 918 mm para el máximo).

Altitud del Área del Proyecto

El proyecto se Ubica a 2800 m. s. n. m.

2.1.5. Ubicación de cantera

2.1.5.1. Ubicación geográfica de cantera

La cantera Chanchará el cual fue utilizada para la ejecución de la obra se encuentra ubicada en C.P. de Compañía de distrito de Pacaycasa de la provincia de Huamanga región de Ayacucho de donde traen los materiales para la obra.

2.1.6. Materiales

2.1.6.1. Materiales de escritorio

Se incluye material bibliográfico, calculadora, cuaderno A-4, cámara para fotos, y laptop.

2.1.6.2. Materiales de campo

- Bolsas para el traslado de áridos.
- Balanza electrónica de sensibilidad 0.1gr.
- Recipientes.

2.2. Métodos

2.2.1 El enfoque, tipo

2.2.1.1 Enfoque de investigación

Según Hernández (2010), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías; este enfoque analiza la realidad de manera objetiva, empleando instrumentos que permiten cuantificar el fenómeno de estudio.

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, debido a que las probetas de concreto elaboradas de acuerdo con los objetivos especificados fueron sometidas a pruebas de laboratorio, cuyos resultados se cuantificaron mediante valores numéricos, tablas estadísticas y análisis de regresión, con el propósito de determinar el módulo de elasticidad real del concreto y su relación con el diseño estructural.

2.2.1.2 Tipo de investigación

Según Hernández (2010), la investigación descriptiva busca especificar las propiedades, características y perfiles de un fenómeno que se somete a análisis, midiendo o recogiendo información de manera independiente sobre las variables a las que se refiere. Por su parte, la investigación correlacional tiene como propósito conocer la relación o el grado de asociación que existe entre dos o más variables en un contexto en particular, sin necesidad de establecer una relación de causa y efecto entre ellas.

La presente investigación es de tipo **descriptivo-correlacional**, debido a que, en primer lugar, se describe el valor del módulo de elasticidad del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ obtenido experimentalmente con los agregados de la cantera Chanchará; y, en segundo lugar, se analiza la relación entre dicho módulo de elasticidad real y el diseño por flexión de los elementos estructurales de la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.

2.2.2 El diseño de la investigación

Según Hernández (2010), en un diseño no experimental el investigador no manipula deliberadamente las variables, sino que observa los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural para posteriormente analizarlos; a diferencia del diseño experimental, aquí no se genera una situación mediante la manipulación intencional de una variable

independiente. Asimismo, cuando la recolección de datos se realiza en un único momento y tiempo determinado, el diseño se clasifica como transversal o transeccional, ya que su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un punto específico.

Según Tamayo (2012), en un diseño no experimental el investigador no manipula deliberadamente las variables, sino que observa los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural para posteriormente analizarlos; a diferencia del diseño experimental, aquí no se genera una situación mediante la manipulación intencional de una variable independiente. Asimismo, cuando la recolección de datos se realiza en un único momento y tiempo determinado, el diseño se clasifica como transversal o transeccional, ya que su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un punto específico.

En este sentido, la presente investigación adoptó un diseño no experimental, correlacional y transversal, debido a que el módulo de elasticidad del concreto se determinó a partir de las probetas elaboradas con los materiales y procedimientos ya establecidos en la construcción de los pabellones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, sin manipular deliberadamente la dosificación, los agregados u otras variables como parte de un experimento controlado; y los datos se recolectaron en un único periodo de tiempo.

2.2.3 La población, la muestra y muestreo

2.2.3.1 La población

Según Tamayo (2012), la población es la totalidad de un objeto de estudio; incluye las unidades de análisis que abarcan dicho objeto con características comunes, observadas en un lugar y un momento determinado. Está conformada por 600 probetas de concreto

$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y, adicionalmente, correspondientes a la totalidad de probetas elaboradas en la construcción de los pabellones de la Escuela Profesional de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

2.2.3.2 Muestra

El tipo de muestreo empleado fue de acuerdo con las recomendaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y consta de 100 testigos, conforme a lo establecido por el American Concrete Institute (ACI).

2.2.4 Técnicas e instrumentos de recojo de datos

Mediante fichas técnicas en campo.

– Técnicas de recolección de información

Tabla 1

Técnicas de recolección de información

TÉCNICA	INSTRUMENTO	ELEMENTOS DE LA POBLACION
Pruebas estandarizadas	Fichas de laboratorio	Concreto simple de dosificación $f'_c 210\text{kg/cm}^2$

Fuente: elaboración propia

2.2.5 Procedimiento de recolección de datos

Los datos se obtuvieron a partir de los testigos elaborados en campo durante el proceso constructivo de los pabellones de Ingeniería Agrícola, ensayados posteriormente de acuerdo con la norma ASTM C-469 para obtener el parámetro E_c .

Para el análisis documental, se recopiló información relevante a partir del estudio de artículos científicos, libros y tesis relacionados con el tema, los cuales permitieron conocer el estado de los avances científicos en relación con el Ec, tanto a nivel internacional como nacional.

2.3. Variables

2.3.1. Operacionalizaciones de variables

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variable	Operacionalización de las variables		
	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente :	Propiedades	Resistencia	Razón
Módulo de	mecánicas	a la	
elasticidad del		compresión(f'_c)	
concreto $f'_c=210$			
kg/cm²			
Dependiente: Diseño	Respuesta	Momento	Razón
por flexión de	estructural	flector	
elementos		actuante(M_u)	
estructurales			

Fuente: elaboración propia

2.4. Indicadores

2.4.1. Indicadores independientes

Módulo de elasticidad (kg/cm²).

2.4.2. Indicadores dependientes

Esfuerzo a la compresión en (kg/cm²).

Diseño por flexión(cm²)

2.5. Procedimiento de la investigación

2.5.1. Determinar el módulo de Elasticidad del concreto $f'_c=210$ kg/cm de los elementos estructurales

2.5.1.1. Diseño de mezclas por el método ACI-211

Para el diseño de mezclas se tomó en cuenta el diseño realizado en el expediente técnico, cuyos valores se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 3

Tabla de diseño de mezcla

DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f'c(kg/cm ²)	Relación agua/cemento (W/C)	cemento	agregado fino	Agregado Grueso	agua (lt/bls)
315	0.45	1	1.4	0.1	19.9
315	0.5	1	1.6	2.3	22.1
280	resistencia	1	1.6	2.3	21.6
245	resistencia	1	1.7	2.5	23.4
210	resistencia	1	1.9	2.6	25.3
175	resistencia	1	2.3	3	28.4
140	resistencia	1	2.5	3.2	30.8

Fuente: consultor de obra

El fin de realizar ensayos en los testigos de concretos es obtener sus propiedades mecánicas de los mismos, principalmente la resistencia a la compresión simple del concreto, ya que, esta propiedad es fundamental para poder obtener el parámetro del E_c , el cual es el objetivo de la presente investigación. Para el ensayo de resistencia a la compresión se ensayaron testigos de concretos estándares en la misma obra, cuyas

dimensiones son de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto de acuerdo a la N.T.P. 339.034 y la ASTM C-192.

2.5.1.2. Elaboración de probetas de concreto

La elaboración de las probetas de concreto se realizó en el lapso de 3 meses. El rendimiento de su elaboración fue de 100 probetas con un $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, donde se muestra en la figura 10 y 11 el proceso constructivo en el vaciado de los diferentes elementos estructurales como vigas, columnas, zapatas.

Figura 10

Vaciado de concreto en losa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Vaciado de zapata de cimentación.



Fuente: Elaboración propia

El concreto fue mezclado con una mezcladora (karmix) de 3.5 m³ de capacidad, de esta manera se buscó obtener una mezcla homogénea.

- Primero se agregó agua hasta la mitad.
- Luego se colocó el agregado grueso y el agregado fino.
- Luego se colocó cemento y la parte faltante de agua por 3 minutos.
- Finalmente, se procedió a tomar la muestra para la verificación del slump.

En la figura 12 se muestra la verificación realizada en campo de acuerdo con la norma NTP 339.05, la cual establece cómo determinar el asentamiento del concreto mediante el cono de Abrams. Para nuestro caso, se obtuvo un valor de 4 pulgadas, cumpliendo con lo establecido en la norma.

Figura 12

Verificación del slump del concreto



Fuente: Elaboración propia

2.5.1.3. Colocación de marca a testigos de concreto

Luego de las 24 horas, se procedió a marcar todos los testigos con la fecha y el tipo de elemento tomado en campo, como se observa en la figura 13.

Figura 13

Colocación de la marca a los testigos de concreto



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1.4. Curado de los testigos de concreto

Los testigos de concreto elaborados se mantuvieron, después de su vaciado, durante 24 horas en el molde, para posteriormente ser trasladados al área de curado, donde permanecieron un periodo de 28 días, como se observa en la figura 14.

Figura 14

Curado de testigos de concreto



Fuente: Elaboración propia.

Al cumplir los 28 días, se sometieron a los ensayos de compresión simple. Para ello, se registraron datos como el diámetro y la longitud, como se muestra en la figura 15, con el fin de garantizar un ensayo adecuado.

Figura 15

Medición de las probetas previo al ensayo de resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1.5. Determinación del módulo de elasticidad del concreto

La norma E-060 da a conocer en el artículo 8.5.2. una manera de determinar el parámetro E_c para concretos con un peso unitario de aproximadamente 2300 kg/m³. La fórmula mencionada es la siguiente: $E_c = 15000 * \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$.

Cabe resaltar que la norma E-060, en su artículo 8.5.3., permite utilizar otros valores para el E_c , siempre y cuando sean estos respaldados por ensayos de laboratorio, debido a esta mención se procede a realizar la presente investigación.

En la figura 16 se muestra el ensayo de módulo de elasticidad que se realizó a los 28 días de vaciado.

Figura 16

Prensa hidráulica para el ensayo de módulo de elasticidad del concreto



Fuente: Elaboración propia

2.5.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión de concreto simple

En el ensayo de compresión se empleó una prensa hidráulica la cual fue calibrada de manera correcta por profesionales certificados de laboratorio. La función principal de esta máquina es aplicar fuerzas de compresión a las muestras ensayadas para de esta manera obtener la rotura de las mismas y determinar su carga máxima admisible.

En la figura 17 se muestra el ensayo de rotura de concreto que se realizó a los 28 días de vaciado.

Figura 17

Prensa hidráulica ensayos de resistencia a la compresión de testigos de concreto



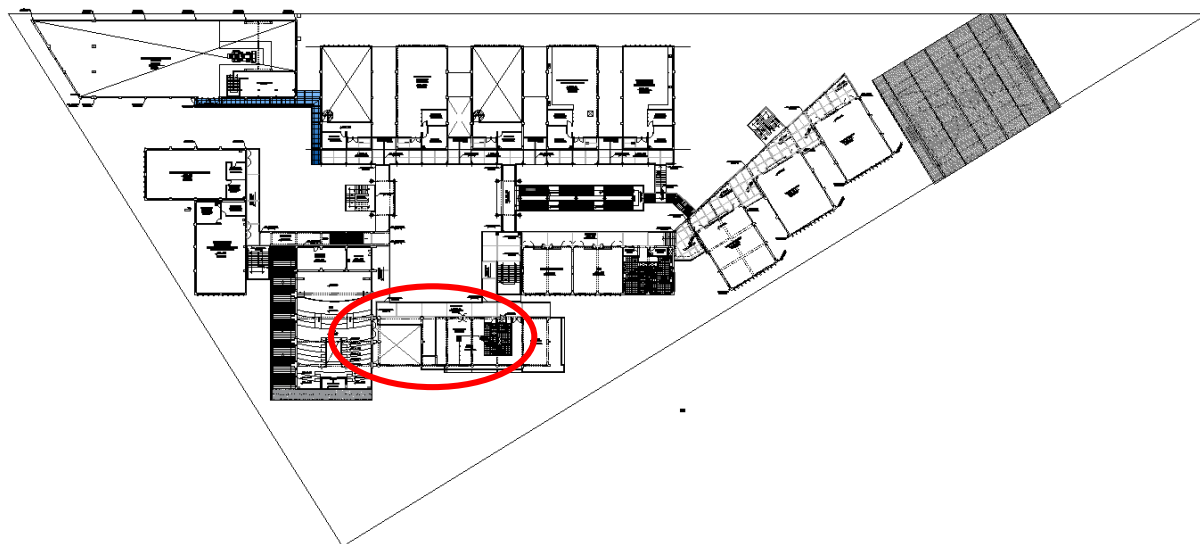
Fuente: Elaboración propia

– **Módulo 6**

El módulo 6 es una parte importante de la construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola. En la figura 18 donde se muestra la ubicación del módulo 6.

Figura 18

Plano general del pabellón de ingeniería agrícola

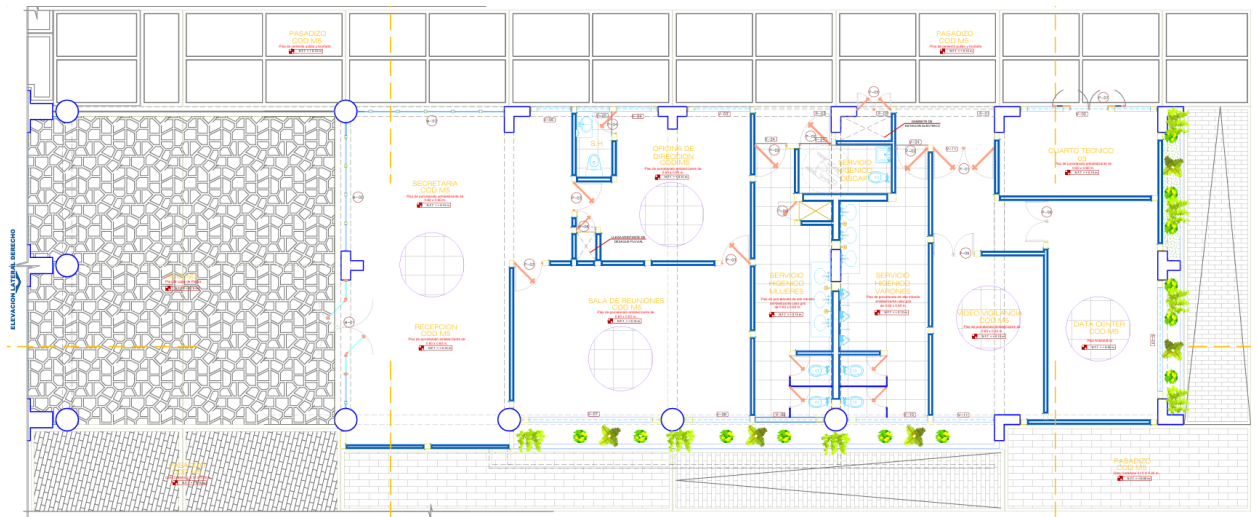


Fuente: Expediente técnico (capítulo 3 planos de obra generales).

El módulo 6 es una edificación de categoría A2 el cual es una edificación esencial. El cual cuenta con los siguientes ambientes: sala docente, oficina de asuntos académicos, sala de reuniones, dirección de escuela y servicios higiénicos el cual se muestra en la figura 19 para

Figura 19

Plano en planta distribución arquitectónica de módulo 6



Fuente: Expediente técnico (capítulo 3 planos de obra de la arquitectura).

2.5.2. Rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real en la construcción.

2.5.2.1. Recopilación de materiales y datos del expediente técnico, correspondientes a la viga del eje 16 y a la losa aligerada del módulo 6.

-Materiales empleados en el expediente técnico

Los siguientes materiales fueron considerados para el análisis:

a) Dimensiones de la viga:

-Viga M6-102(0.30x0.70)

b) Concreto $f'c=210$ kg/cm²:

- Resistencia a la compresión (f'_c): 210 kg/cm².
- Módulo de elasticidad (E): 217,370.65 kg/cm².
- c) Acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm²:
 - Resistencia a la fluencia (f_y): 4,200 kg/cm².
 - Módulo de elasticidad (E): 2'000,000 kg/cm².

-Normas empleadas

Se siguen las siguientes disposiciones del reglamento y normas nacionales e internacionales descritas a continuación:

- a) Reglamento nacional de edificaciones (Perú):
 - Norma E.020 -Cargas
 - Norma E.030 –Diseño sismoresistente
 - Norma E.060 –Concreto armado

2.5.2.2. Estructuración y predimensionamiento

La estructuración consiste en definir la ubicación y las características de todos los elementos estructurales, tales como las losas aligeradas, vigas, columnas de tal forma que el edificio tenga un comportamiento ante solicitaciones de cargas de gravedad y sismo.

Por lo tanto, es muy importante tomar en cuenta los criterios de estructuración sismorresistente:

- ✓ simplicidad y simetría
- ✓ resistencia y ductilidad
- ✓ hiperestaticidad y monolitismo.
- ✓ uniformidad y continuidad de la estructura
- ✓ rigidez lateral existencia de diafragmas rígidos

- ✓ análisis de la influencia de los elementos no estructurales.

El predimensionamiento consiste en asignar una dimensión tentativa o definitiva, de acuerdo con ciertos criterios y recomendaciones basados en la práctica de muchos ingenieros y en lo estipulado en la Norma Técnica de Edificaciones E-060 de Concreto Armado, así como en los requisitos arquitectónicos y de ocupación. Luego del análisis de estos elementos se verá si las dimensiones asumidas son convenientes o tendrán que cambiarse para luego pasar al diseño de ellos.

- ✓ Predimensionamiento de las losas aligeradas

La regla práctica para determinar el espesor de la losa es dividir la mayor longitud de luz libre entre 25. Este espesor considera los 5 cm de concreto que se coloca por encima del ladrillo más la altura del ladrillo. Al ser los ladrillos de sección cuadrada de 30x30 cm con una altura variable de 12, 15, 20 y 25 cm, el espesor de losa a escoger queda restringido a ciertos valores.

$$h \geq \frac{ln}{25}, h = 17, 20, 25 \text{ o } 30 \text{ cm} \quad (46)$$

- ✓ Predimensionamiento vigas peraltadas

Para predimensionar estas vigas, por lo general, se considera como regla práctica usar un peralte del orden del décimo o doceavo de la mayor luz libre entre apoyos. Para el ancho o base de la viga se debe considerar una longitud mayor que 0.3 del peralte, sin que llegue a ser menor de 25 cm. Se recomienda no tener un ancho mayor a 0.5 del peralte, debido a que el ancho es menos importante que el peralte para proporcionar inercia a la viga.

$$h \geq \frac{ln}{10} \text{ ó } h \geq \frac{ln}{12} \quad (47)$$

La regla práctica para determinar el espesor de la losa es dividir la mayor longitud de luz libre entre 25. Este espesor considera los 5 cm de concreto que se coloca por encima del ladrillo más la altura del ladrillo. Al ser los ladrillos de sección cuadrada de 30x30 cm con una altura variable de 12, 15, 20 y 25 cm, el espesor de losa a escoger queda restringido a ciertos valores.

$$h \geq \frac{ln}{25}, h = 17, 20, 25 \text{ o } 30 \text{ cm} \quad (48)$$

2.5.2.3. Metrado de carga y combinación de cargas

El metrado de cargas de gravedad, es una técnica con la cual se estiman las cargas actuantes sobre los distintos elementos estructurales que componen el edificio. Como regla general, al metrar cargas se debe pensar en la manera como se apoya un elemento sobre otro, las cargas existentes en un nivel se transmiten a través de la losa del techo hacia las vigas que la soportan, luego estas vigas al apoyarse sobre las columnas, le transfieren su carga, posteriormente las columnas transfieren las cargas hacia sus elementos de apoyo que son las zapatas, finalmente las cargas pasan a actuar sobre el suelo de cimentación.

El metrado se hará mediante el método de área tributaria o zonas de influencia separando la carga muerta de la carga viva. Los valores de cargas y pesos unitarios a usar son los siguientes y han sido tomados de la NTE E.020 de Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- **Carga muerta**

✓	Losa aligerada (25cm)	350kgf/m ²
✓	Muros móviles	150kgf/m ²
✓	Acabados	100kgf/m ²

- **Carga viva**

✓ Sobrecarga Techos 400kg/m²

- Combinación de cargas

Según la norma estructural vigente E.60 de concreto armado. Se realiza las siguientes combinaciones de carga.

$$U1: 1.4CM + 1.7CV \quad (49)$$

$$U2: 1.25(CM + CV) + CSX \quad (50)$$

$$U3: 1.25(CM + CV) - CSX \quad (51)$$

$$U4: 1.25(CM + CV) + CSY \quad (52)$$

$$U5: 1.25(CM + CV) - CSY \quad (53)$$

$$U6: 0.90CM + CSX \quad (54)$$

$$U7: 0.90CM - CSX \quad (55)$$

$$U8: 0.90CM + CSY \quad (56)$$

$$U9: 0.90CM - CSY \quad (57)$$

$$ENVOLVENTE: U1 + U2 + U3 + U4 + U5 + U6 + U7 + U8 + U9 \quad (58)$$

Donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

CSX: Carga de Sismo en la dirección X

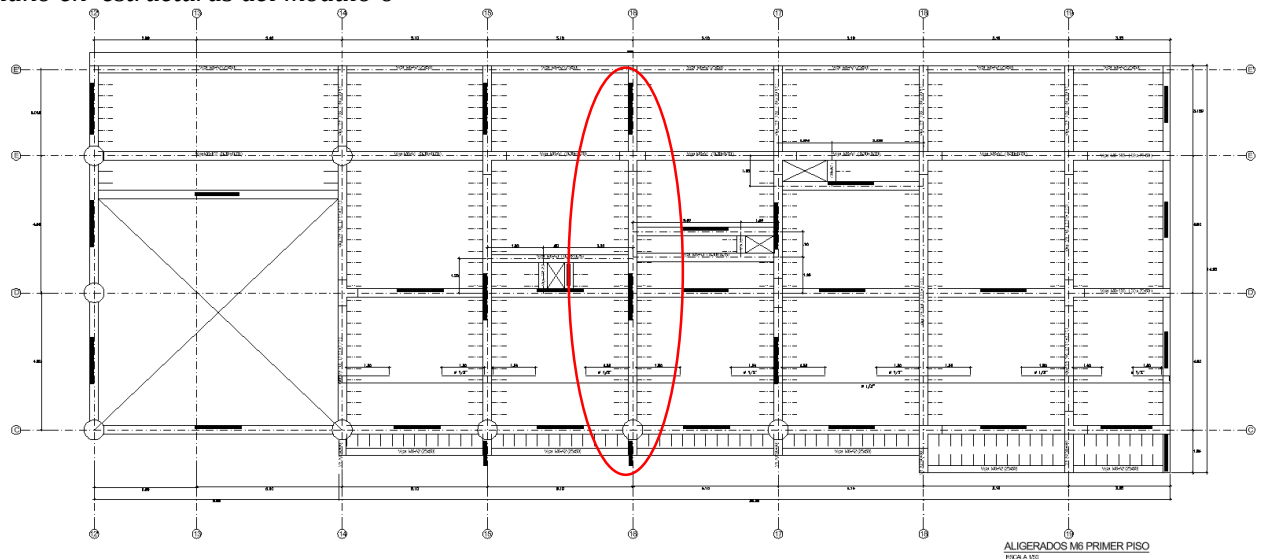
CSY: de Sismo en la dirección Y

2.5.2.4 Diseño por flexión con el módulo de elasticidad normativo

-Diseño de los elementos a flexión de viga

Para la presente investigación, como se muestra en la figura 20, se tomaron los datos del expediente técnico con el plano de estructuras del módulo 6 del primer piso, del eje 16, el cual está constituido por la sala docente, oficina de asuntos académicos, dirección de escuela y servicios higiénicos.

Figura 20
Plano en estructuras del módulo 6



Fuente: Expediente técnico (capítulo 3 planos de obra de estructuras)

-Ecuación para el diseño en flexión

Para el cálculo del acero por flexión, se va a utilizar las expresiones siguientes, Asimismo, el acero calculado debe estar en el rango del acero mínimo y máximo, ya que así garantiza la ductilidad según los requerimientos de la Norma E0.60.

Por equilibrio.

Fuerza de compresión = Fuerza de Tracción

$$0.85 * f'_{cb} * a = A_s * f_y$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_{cb} * b} \quad (59)$$

Reemplazando As por pbd se tiene:

$$a = \frac{\rho * d * f_y}{0.85 * f'_c} \quad (60)$$

Tomando momentos en la ubicación de la resultante en tracción(en la ubicación de As)

Mu= Fuerza de compresión x distancia.

$$Mu = (0.85 * f'_c * b * a) * (d - \frac{a}{2}) \quad (61)$$

Reemplazando I en II y denominado “w” a $\rho * f_y / f'_c$ se tiene:

$$a = - \frac{w * d}{0.85} \quad (62)$$

$$Mu = 0.85 * f'_c * \frac{bw * d}{0.85} * (d - \frac{wd}{2 * 0.85}) \quad (63)$$

$$Mu = f'_c * b * d^2 * w * (1 - 0.59w) \quad (64)$$

Para el diseño a flexión se toma $\phi = 0.9$, siendo Mu:

$$Mu = \phi * f'_c * b * d^2 * w * (1 - 0.59w) \quad (65)$$

Acero mínimo:

$$A_{min} = 0.7 * \frac{\sqrt{f'_c} * bw * d}{f_y} \quad (66)$$

Donde ;

bw: ancho de la viga.

d: peralte efectivo.

Acero máximo

Cálculo de la cuantía balanceada

$$c = \frac{cb}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \quad (67)$$

Por equilibrio en el diagrama de fuerzas

$$0.85 * f'c * b * a = As * fy \quad (68)$$

$$0.85 * f'c * b * a = \rho * b * d * fy \quad (69)$$

De donde:

$$\rho = \frac{0.85 * f'c * a}{d * fy} = \frac{0.85 * f'c * \beta_1 * c}{d * fy} \quad (70)$$

Reemplazado c_b en la ecuación de ρ se tiene:

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \quad (71)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{6000}{6000 + f_y} \quad (72)$$

$$C_b = \frac{0.003}{0.0021 + 0.003} * d \quad (73)$$

Con esta ecuación hallamos la cuantía balanceada.

$$Asb = \frac{0.85 * f'c * (Cb * 0.85) * bw}{fy} \quad (74)$$

$$Asmax = 0.75 Asb \quad (75)$$

Donde ;

C_b ; distancias al eje neutro en la falla balanceada.

d : peralte efectivo.

Asb : área de acero para la falla balanceado.

Diseño a flexión de losas aligeradas del módulo 6

Para el presente diseño, se tomaron los datos del expediente técnico.

– **Predimensionamiento de losas aligeradas del módulo 6**

Para las losas aligeradas se predimensiona de acuerdo con la norma E-060, el peralte de losa es:

$$h = \frac{ln}{21} \quad (76)$$

– **Metrado de carga de la losa aligerada**

• **CARGA MUERTA :**

Para la carga muerta, el piso terminado es $100 \text{ kg/m}^2 \cdot 0.40\text{m} = 40\text{kg/m}$.

Para vigas ladrillo de techo .

$$Pt = Pl + Pc \quad (77)$$

$$Pc = Vc * \gamma_c = (3 * 0.1 * 0.2 * 1 + 0.05 * 1 * 1) \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \frac{2400\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (78)$$
$$= 264\text{kg/m}$$

$$Pl = Pt - Pc = 350\text{kg/m}^2 - 264\text{kg/m}^2 = 86\text{kg/m}^2 \quad (79)$$

Peso del ladrillo por un ancho de viga de $86\text{kg/m}^2 \cdot 0.40\text{m} = 34.4\text{kg/m}$

Para tabiqueria $100\text{kg/m}^2 \cdot 0.40\text{m} = 40\text{kg/m}$.

Carga muerta total $86 + 40 + 34.40 = 160.4 \text{ kg/m}$.

• **CARGA VIVA :**

Para la carga viva sobrecarga de oficinas $200\text{kg/m}^2 \cdot 0.40\text{m} = 80\text{kg/m}$

– **Combinación de cargas**

Según la norma estructural vigente E.60 de concreto armado para el diseño de losas aligerada. Se realiza las siguientes combinaciones de carga.

$$U1: 1.4CM + 1.7CV \quad (80)$$

Donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

CSX: Carga de Sismo en la dirección X

CSY: de Sismo en la dirección Y

Diseño de los elementos a flexión de losa aligerada

Para la presente investigación se tomaron los datos del expediente técnico realizado en el modelamiento.

Para lo cual primero se realizaron los siguientes pasos:

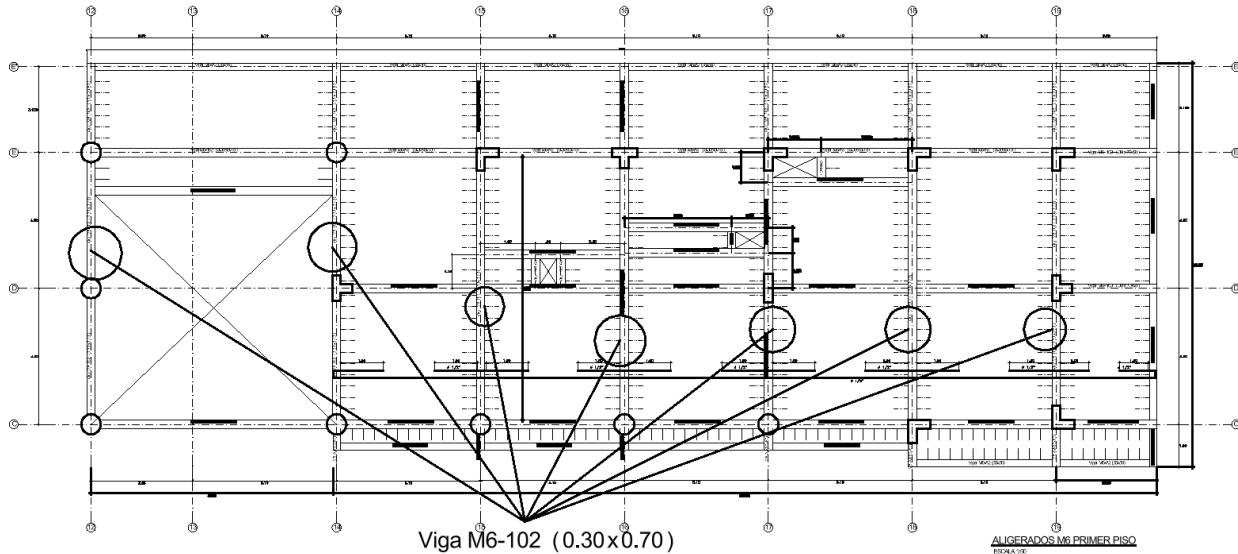
1. La estructuración
2. Predimensionamiento
3. Metrado de cargas
4. Análisis estructural

El cuadro nos muestra el peralte de la losa de 0.25m.

La Figura 21 muestra el plano en planta correspondiente al módulo 6 de la edificación, en el cual se identifican los ejes estructurales verticales y horizontales que definen la distribución de columnas en toda la planta, representadas mediante círculos en las intersecciones de dichos ejes. Se resalta además la viga M6-102, con dimensiones de 0.30 x 0.70 m, la cual conecta varios ejes estructurales del módulo, tal como se indica con las líneas convergentes en el plano. De acuerdo con el texto previo, la losa presenta un peralte de 0.25 m. Este plano permite visualizar la disposición estructural del módulo 6,

sirviendo como referencia para el análisis de los elementos a flexión (vigas) considerados en la investigación.

Figura 21
Plano en planta del modulo 6



Fuente: Expediente técnico (capítulo 3 planos estructurales del aligerado).

Ecuación para el diseño por flexión aligerada

Las losas aligeradas están compuestas por viguetas de sección T espaciadas cada 40cm a lo largo del Paño y en una sola dirección. Por lo que, para el diseño de estos elementos se idealiza como viguetas simplemente apoyadas en cada paño.

Acero positivo (Mu+)

$$As_{min+} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{fy} * bw * d \quad (81)$$

$$Cb = \frac{0.003}{0.0021 + 0.003} * d \quad (82)$$

$$Asb = \frac{0.85 * f'c(hf * be + (Cb * 0.85 - hf)bw)}{fy} \quad (83)$$

$$As_{max+} = 0.75 * As_b + \quad (84)$$

Acero negativo (Mu-)

$$As_{min-} = \frac{1.2 * M_{cr}}{\phi * f_y * (d - \frac{a_{min}}{2})} \quad (85)$$

$$M_{cr} = \frac{I * f_r}{c} \quad (86)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * f'_c * b_w}} \quad (87)$$

$$C_b = \frac{0.003}{0.0021 + 0.003} * d = \quad (88)$$

$$As_b = \frac{0.85 * f'_c (h_f * b_e + (C_b * 0.85 - h_f) b_w)}{f_y} \quad (89)$$

$$As_{max-} = 0.75 * As_b - \quad (90)$$

2.5.2.5 Rediseño por flexión con el módulo de elasticidad real

Ecuación para el rediseño en flexión viga

Para el cálculo del acero por flexión para el diseño será según la Norma E0.60.

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 * f'_c * b}} \quad (91)$$

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'_c} \quad (92)$$

$$\sqrt{f'_c} = \frac{E_c}{15000} \quad (93)$$

$$f'_c = \left(\frac{E_c}{15000} \right)^2 \quad (94)$$

Sustituyendo en la fórmula de a

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'c * b}} \quad (95)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * \left(\frac{Ec}{15000}\right)^2 * b}} \quad (96)$$

Calculamos el acero del valor de a recalculado.

$$As = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (97)$$

Acero mínimo:

$$Amin = 0.7 * \frac{\sqrt{f'c} * bw * d}{fy} \quad (98)$$

Reemplazamos en f'c despejado en acero minino:

$$Amin = 0.7 * \frac{\left(\frac{Ec}{15000}\right)^2 * bw * d}{fy} \quad (99)$$

Acero máximo

De donde:

$$\rho = \frac{0.85 * f'c * a}{d * fy} = \frac{0.85 * f'c * \beta_1 * c}{d * fy} \quad (100)$$

Reemplazado c_b en la ecuación de p se tiene:

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \quad (101)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * fy} * \frac{6000}{6000 + f_y} \quad (102)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * f'c * \beta_1}{d * f_y} * \frac{6000}{6000 + f_y} \quad (103)$$

Con esta ecuación hallamos la cuantía balanceada

$$Asb = \frac{0.85 * f'c * (Cb * 0.85) * bw}{f_y} \quad (104)$$

Reemplazamos en $f'c$ despejado en acero minino:

$$Asb = \frac{0.85 * (\frac{Ec_{exp}}{15000})^2 * (Cb * 0.85) * bw}{f_y} \quad (105)$$

$$As_{max} = 0.75 Asb \quad (106)$$

Donde ;

Cb ; distancias al eje neutro en la falla balanceada.

d ; peralte efectivo.

Asb : área de acero para la falla balanceado.

Ecuación para el rediseño en flexión losa aligerada

Para el cálculo del acero por flexión para el diseño será según la Norma E0.60.

Acero positivo (Mu+)

$$As_{min+} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{f_y} * bw * d \quad (107)$$

$$Ec = 15000 * \sqrt{f'c} \quad (108)$$

$$\sqrt{f'c} = \frac{Ec}{15000} \quad (109)$$

$$f'c = (\frac{Ec_{exp}}{15000})^2 \quad (110)$$

Sustituyendo en la formula As_{min+}

$$A_{smin+} = \frac{0.7 * \frac{E_{cexp}}{15000}}{f_y} * b_w * d \quad (111)$$

$$C_b = \frac{0.003b_w}{0.0021 + 0.003} * d \quad (112)$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 * (\frac{E_{cexp}}{15000})^2 * (h_f * b_e + (C_b * 0.85 - h_f)b_w)}{f_y} \quad (113)$$

$$A_{smax+} = 0.75 * A_{sb} + \quad (114)$$

Acero negativo (Mu-)

$$A_{smin-} = \frac{1.2 * M_{cr}}{\phi * f_y * (d - \frac{a_{min}}{2})} \quad (115)$$

$$M_{cr} = \frac{I * f_r}{c} \quad (116)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * f_c * b_w}} \quad (117)$$

Sustituyendo en la formula amin

$$E_c = 15000 * \sqrt{f_c} \quad (118)$$

$$\sqrt{f_c} = \frac{E_c}{15000} \quad (119)$$

$$f_c = (\frac{E_{cexp}}{15000})^2 \quad (120)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * (\frac{E_{cexp}}{15000})^2 * b_w}} \quad (121)$$

$$C_b = \frac{0.003b_w}{0.0021 + 0.003} * d \quad (122)$$

$$Asb = \frac{0.85 * f'c * (Cb * 0.85) * bw}{fy} \quad (123)$$

Reemplazando en Asb el $f'c$ despejado

$$Asb = \frac{0.85 * \left(\frac{Ec_{exp}}{15000}\right)^2 * (Cb * 0.85) * b_w}{fy} \quad (124)$$

$$As_{max} = 0.75 * Asb \quad (125)$$

2.5.2.6 Comparación de cuantías

Acero mínimo, máximo y requerido) entre el diseño original y el rediseño, conforme a la norma E.060 (Concreto Armado).

2.5.3. Determinar la relación de los cálculos rediseñados obtenidos con el expediente técnico en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola del 2024.

2.5.3.1 Recopilación y consolidación de los datos

Se recopilaron los valores correspondientes al diseño estructural consignados en el expediente técnico, considerando las dimensiones de los elementos estructurales, momentos flectores y cuantías de acero utilizadas en el diseño de la viga del eje 16 y de la losa aligerada del módulo 6.

Asimismo, se incorporaron los resultados obtenidos en el rediseño estructural realizado con el módulo de elasticidad determinado experimentalmente, manteniendo las condiciones geométricas y de carga consideradas en el expediente técnico, con la finalidad de garantizar la comparabilidad de los resultados.

Los datos fueron organizados en tablas comparativas, diferenciando los valores correspondientes al expediente técnico y al rediseño estructural.

tabularon los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (módulo de elasticidad y resistencia a compresión) junto con los valores recalculados del diseño estructural por flexión.

2.5.3.2 Comparación de los parámetros de diseño

Se realizó la comparación de los principales parámetros obtenidos en el diseño del expediente técnico y en el rediseño estructural. Para la viga del eje 16 se consideraron el acero requerido, acero mínimo, acero máximo permisible y acero colocado; mientras que para la losa aligerada se compararon los valores de acero obtenidos para las zonas de momento positivo y negativo.

Esta comparación permitió identificar las diferencias existentes entre los resultados del expediente técnico y aquellos obtenidos mediante el rediseño con el módulo de elasticidad real del concreto

2.5.3.3. Determinación de la variación porcentual

Para cuantificar las diferencias entre los resultados del expediente técnico y los obtenidos mediante el rediseño, se calculó la variación porcentual.

Los resultados fueron organizados en tablas para facilitar la identificación de los cambios producidos en cada parámetro de diseño.

2.5.3.4. Análisis de la relación entre el rediseño y el expediente técnico

A partir de las variaciones porcentuales obtenidas, se estableció la relación entre los resultados del rediseño y los valores considerados en el expediente técnico. El análisis se centró principalmente en determinar si las diferencias encontradas en el acero requerido implicaban una modificación del refuerzo considerado originalmente en el proyecto.

Asimismo, se verificó que los valores de acero mínimo y máximo obtenidos mediante el rediseño se encontraran dentro de los límites establecidos para el diseño de los elementos estructurales. En el caso de la viga del eje 16, el rediseño mostró una reducción del 4,61 % en el acero requerido, mientras que el acero mínimo y máximo permisible presentaron variaciones de 15,00 % y 24.34 %, respectivamente. En la losa aligerada, las variaciones fueron inferiores al 2 %.

2.5.3.5. Comparación de la relación entre el rediseño y el expediente técnico

Finalmente, se comparó el acero requerido obtenido mediante el rediseño con el acero especificado en el expediente técnico, con la finalidad de determinar si era necesario modificar el refuerzo originalmente considerado.

La relación se estableció considerando que el acero colocado debía satisfacer simultáneamente el acero requerido y los límites de acero mínimo y máximo permisibles. De esta manera, se determinó si las diferencias obtenidas mediante el rediseño representaban una modificación efectiva del refuerzo estructural previsto en el expediente técnico.

En los elementos analizados, los resultados mostraron que, pese a las variaciones obtenidas en los cálculos, el acero especificado en el expediente técnico se mantuvo sin modificaciones, debido a que continuó cumpliendo con los límites de refuerzo correspondientes

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Del objetivo 1: Resultado del ensayo módulo de elasticidad Determinar el módulo de Elasticidad del concreto $f'_c=210$ kg/cm.

– Resistencia a la compresión

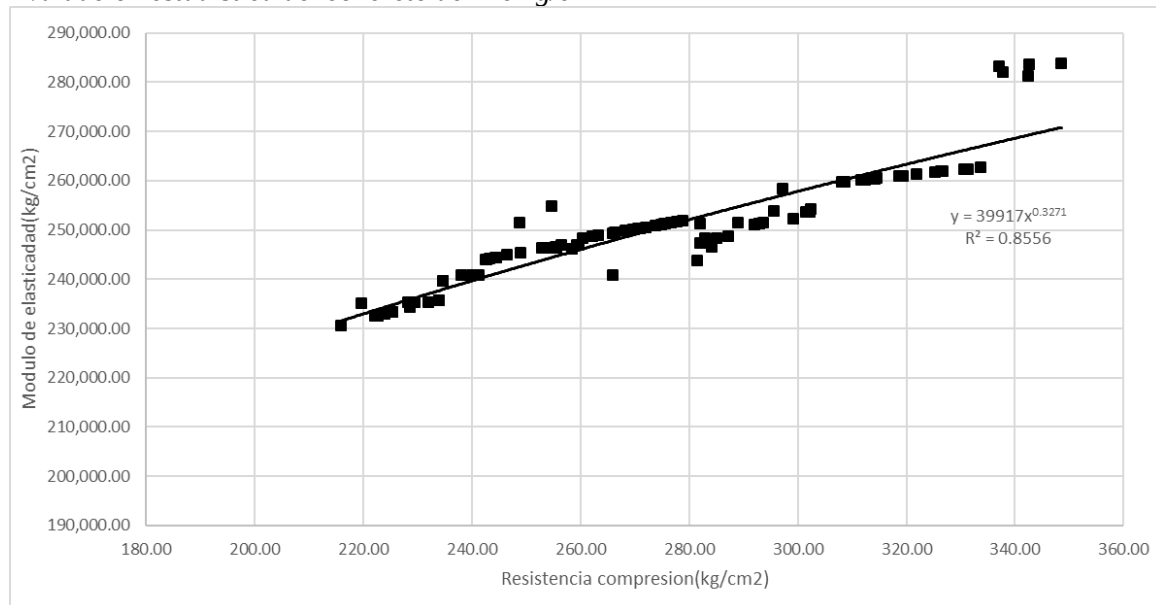
Se procedió a realizar el ensayo y la lectura de las deformaciones; posteriormente se realizó el cálculo del módulo de elasticidad.

Los valores obtenidos en laboratorio para las diferentes muestras. Se obtuvo un esfuerzo a compresión promedio de 273.91 kg/cm² y, de acuerdo con este resultado, se halló el valor del módulo de elasticidad no experimental, que fue de 249,883.16 kg/cm², mientras que, de manera teórica, reemplazando en la fórmula $15000 * \sqrt{f'_c}$ se obtuvo de 217,370.65 kg/cm².

La relación de los valores de módulo de elasticidad e resistencia como se aprecia en la figura 22 nos muestra un resultado de los 100 testigos analizados es 249,883.16 kg/cm².

Figura 22

Evaluación estadística del concreto de 210 kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

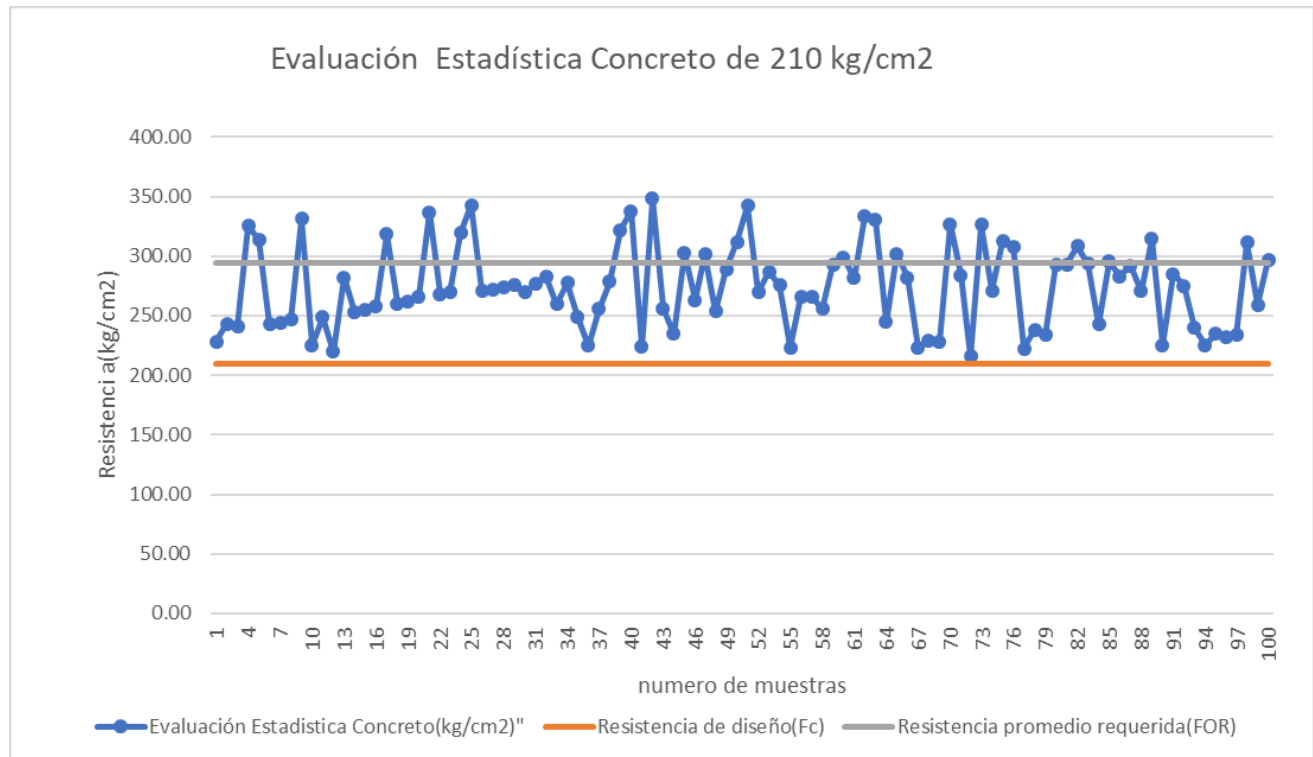
3.1.1.1. Resultados de la rotura de probetas de concreto 210 kg/cm²

En la figura 23 se observa que la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la resistencia de diseño. Al comparar con la resistencia requerida, se obtiene un valor promedio de 273.91 kg/cm², mientras que la resistencia de diseño es de 210 kg/cm² y la resistencia requerida para este caso es de 294 kg/cm², valor mínimo que se debería alcanzar.

Los puntos de color azul representan los valores individuales de resistencia a la compresión alcanzados por cada uno de los 100 testigos ensayados. Se observa que la mayoría de estos valores se ubican por debajo de la resistencia requerida, lo cual podría representar un riesgo para la durabilidad de la estructura si no se toman las medidas correctivas correspondientes.

Figura 23

Evaluación estadística del concreto de 210 kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Del objetivo 2: Rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real en la construcción

3.1.2.1 Resultado del diseño por flexión de vigas y losa aligerada

Para cumplir el objetivo específico número 2 se tomaron los datos del módulo 6 (administración) del primer piso cual tiene viga de 30cmx70cm del eje 16.

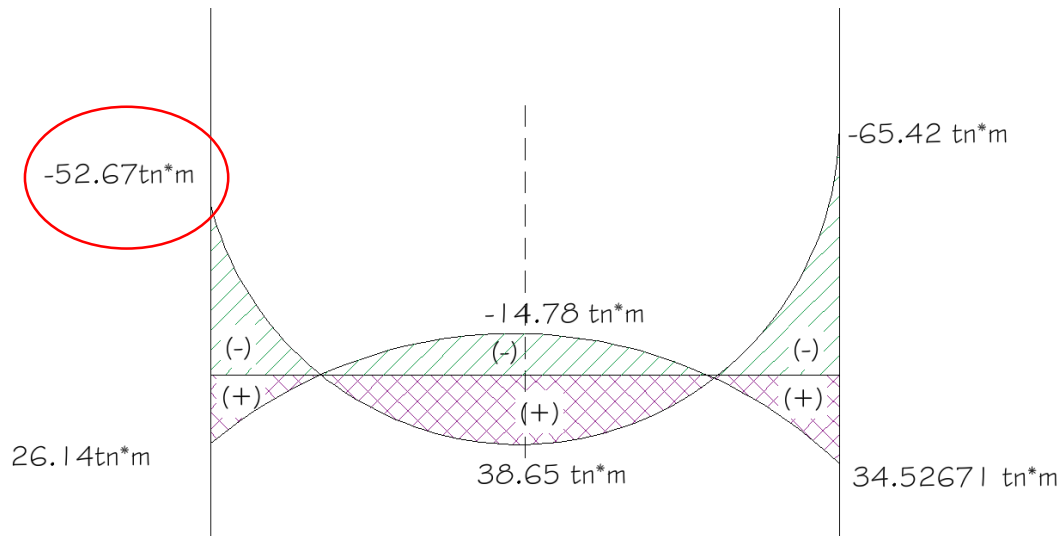
a) Diagrama de momento flector de la estructura de vigas

El diagrama de momento calculado se tomó de acuerdo con el expediente técnico utilizado en el proyecto de construcción de la Escuela de Ingeniería Agrícola. En la figura

24 se muestran los valores del momento último calculado el cual se tomará para este ejemplo el momento negativo del lado izquierdo el cual fue modelado ETABS.

Figura 24

Resultado de momento ultimo expresado tn-m



Fuente: Elaboración propia

b) calculo del acero de vigas

Para el cálculo del acero por flexión, se va a utilizar las expresiones siguientes, Asimismo, el acero calculado debe estar en el rango del acero mínimo y máximo, ya que así garantiza la ductilidad según los requerimientos de la Norma E0.60.

De acuerdo a nuestro resultado:

Nos da la viga 30cmx70cm de $d=h-4=66$.

Calculo de momento $M_u = 52.67 \text{ tn-m}$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 * f'c * b}} = 66 - \sqrt{66^2 - \frac{2 * \frac{52.67 \text{ tn}}{m} * 10^5}{0.9 * 0.85 * 210 * 30}} = 19.41 \text{ cm} \quad (126)$$

Calculamos al acero:

$$A_s = \frac{Mu}{\phi * f_y * (d - \frac{a}{2})} = \frac{52.67 * 10^5}{0.9 * 4200 * (66 - \frac{19.41}{2})} = 24.75 \text{ cm}^2 \quad (127)$$

Calculamos al acero mínimo:

Acero mínimo:

$$C = \frac{0.7 * \sqrt{210} * 30 * 66}{4200} = 4.78 \text{ cm}^2 \quad (128)$$

Acero máximo:

$$Cb = (\frac{0.003}{0.0021 + 0.003}) * d = 38.82 \quad (129)$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 * f'_c * cb * 0.85 * bw}{f_y} = \frac{0.85 * 210 * 38.82 * 0.85 * 30}{4200} \quad (130)$$

$$= 42.07 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.75 * 42.07 \text{ cm}^2 = 31.55 \text{ cm}^2 \quad (131)$$

Tabla 4

Resumen de acuerdo del expediente técnico

Acero calculado	Acero mínimo	Acero Máximo
Asb=24.75cm ²	Amín=4.78cm ²	Amax=31.55cm ²

Fuente: Elaboración propia

El acero balanceado (Asb = 24.75 cm²), calculado en función del momento flector negativo máximo (-52.67 tn·m), se encuentra dentro de los límites normativos de acero mínimo (4.78 cm²) y máximo (31.55 cm²).

Para el plano se empleó 6Ø1" (30.60 cm²), cumpliendo con el requerimiento de diseño.

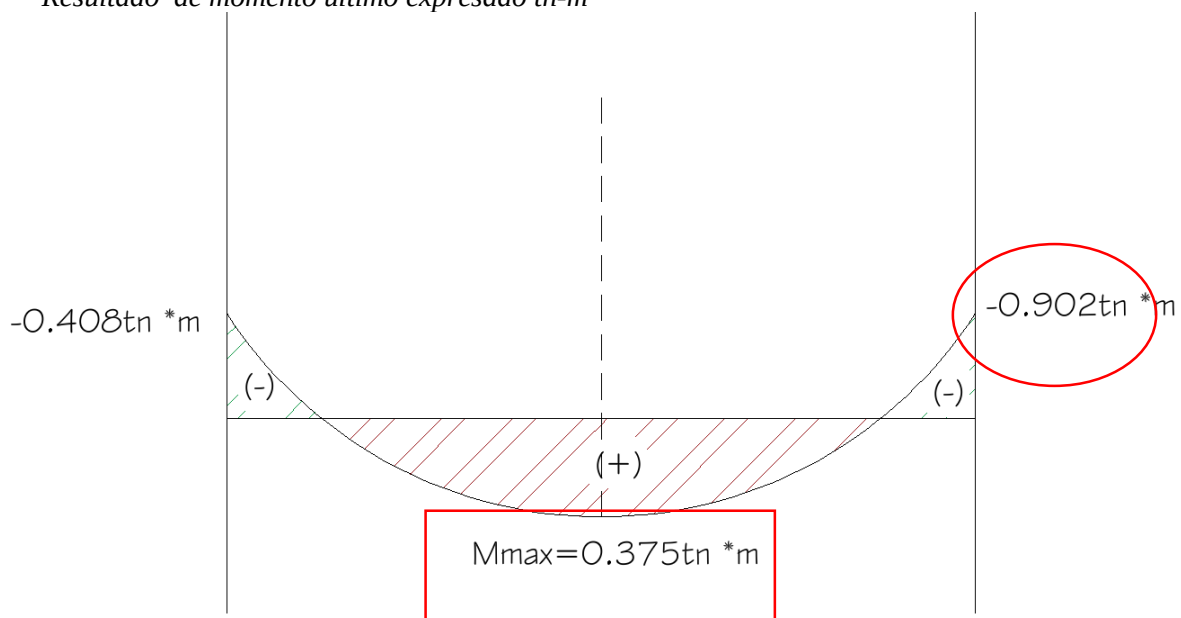
a) Diagrama de momento flector de la estructura de losas aligerada

El diagrama de momento calculado se tomó de acuerdo con el expediente técnico utilizado en el proyecto de construcción de la Escuela de Ingeniería Agrícola. En la figura 24 se muestran los valores del momento último calculado el cual se tomará para este ejemplo el momento negativo del lado izquierdo el cual fue modelado ETABS.

Donde El círculo rojo señala el momento negativo máximo ($-0.902 \text{ tn}\cdot\text{m}$) en el apoyo derecho, y el recuadro rojo indica el momento positivo máximo ($M_{\text{max}} = 0.375 \text{ tn}\cdot\text{m}$) al centro de la luz.

Figura 25

Resultado de momento ultimo expresado tn-m



Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo del acero de losas aligeradas

Para el cálculo del acero por flexión, se va a utilizar las expresiones siguientes, Asimismo, el acero calculado debe estar en el rango del acero mínimo y máximo, ya que así garantiza la ductilidad según los requerimientos de la Norma E0.60.

Acero positivo (M_{u+})

$$As_{min+} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{f_y} * bw * d = \frac{0.7 * \sqrt{210}}{4200} * 10 * 22 = 0.5313cm^2 \quad (132)$$

$$Cb = \left(\frac{0.003}{0.0021 + 0.003} \right) * 22 = 12.94cm \quad (133)$$

$$As_b = \frac{0.85 * 210 * 5 * 40 + (12.94 * 0.85 - 5) * 10}{4200} = 11.05cm^2 \quad (134)$$

$$As_{max+} = 0.75 * 11.05 = 8.29cm^2 \quad (135)$$

Acero negativo (Mu-)

$$M_{cr} = \frac{I * f_r}{c} = 0.75Ton * m \quad (136)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * f'c * bw}} \quad (137)$$

$$= 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 1.2 * 0.75 * 10^5}{0.9 * 0.85 * 210 * 10}} = 2.71cm^2$$

$$As_{min-} = \frac{1.2 * M_{cr}}{\phi * f_y * \left(d - \frac{a_{min}}{2} \right)} = \frac{1.2 * 0.75 * 10^5}{0.9 * 4200 * \left(22 - \frac{2.71}{2} \right)} = 1.2cm^2 \quad (138)$$

$$Cb = \left(\frac{0.003}{0.0021 + 0.003} \right) * d = 12.94cm \quad (139)$$

$$As_b = \frac{0.85 * f'c * (Cb * 0.85) * bw}{f_y} = \frac{0.85 * 210 * (12.94 * 0.85) * 10}{4200} \quad (140)$$

$$= 4.67cm^2$$

$$As_{max-} = 0.75 * As_b = 3.50cm^2 \quad (141)$$

Calculo de “a” con Mu=0.902 tn-m

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'c * bw}} = 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 0.902 * 10^5}{0.9 * 0.85 * 210 * 10}} \quad (142)$$

$$= 2.72cm$$

Calculo de “a” con Mu+=0.375 tn-m

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'c * bw}} = 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 0.366 * 10^5}{0.9 * 0.85 * 210 * 10}} \quad (143)$$

$$= 1.09cm$$

Calculo de As requerido

$$As- = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{0.902 * 10^5}{0.90 * 4200 * \left(22 - \frac{2.72}{2}\right)} = 1.16cm^2 \quad (144)$$

$$As+ = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{0.375 * 10^5}{0.90 * 4200 * \left(22 - \frac{1.09}{2}\right)} = 0.462cm^2 \quad (145)$$

Tabla 5

Resumen de acuerdo al expediente

	Acero requerido	Acero mínimo	Acero Máximo
Mu -	As-=1.16cm ²	Amín=1.2cm ²	Amax=3.50cm ²
Mu +	As+=0.462cm ²	Amín=0.53cm ²	Amax=8.29cm ²

Fuente: Elaboración propia

Los valores de acero requerido, mínimo y máximo se obtuvieron de acuerdo al expediente técnico.

Para la presentación del plano se utilizaran aceros 1ϕ1/2”=1.29cm²

3.1.2.2. Rediseño de los elementos

a) Rediseño de vigas

Para poder rediseñar los elementos se tiene que despejar la función de módulo de elasticidad .

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * \left(\frac{Ec_{exp}}{15000}\right)^2 * b}} = 66 - \sqrt{66^2 - \frac{2 * \frac{52.67 \text{ tn}}{m} * 10^5}{0.9 * 0.85 * \left(\frac{249,883.16}{15000}\right)^2 * 30}} = 14.01 \text{ cm} \quad (146)$$

Calculamos el acero del valor de a recalculado.

$$A_s = \frac{Mu}{\phi * f_y * (d - \frac{a}{2})} = \frac{52.67 * 10^5}{0.9 * 4200 * (66 - \frac{14.01}{2})} = 23.61 \text{ cm}^2 \quad (147)$$

Acero mínimo

Reemplazamos en f'c despejado en acero minino:

$$A_{min} = 0.7 * \frac{\frac{Ec_{exp}}{15,000} * b_w * d}{f_y} = \frac{0.7 * \frac{249,883.13}{15,000} * 30 * 66}{4200} = 5.497 \text{ cm}^2 \quad (148)$$

Acero máximo

Reemplazamos en f'c despejado en acero minino:

$$A_{sb} = \frac{0.85 * \left(\frac{Ec}{15000}\right)^2 * (C_b * 0.85) * b_w}{f_y} \quad (149)$$

$$= \frac{0.85 * \left(\frac{249,883.13}{15,000}\right)^2 * 38.82 * 0.85 * 30}{4200} = 55.60 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.75 A_{sb} = 0.75 * 55.60 = 41.70 \quad (150)$$

Tabla 6

Resumen de acuerdo al expediente técnico

Acero balanceado	Acero mínimo	Acero Máximo
-------------------------	---------------------	---------------------

Asb=23.61cm ²	Amín=5.497cm ²	Amax=41.70cm ²
--------------------------	---------------------------	---------------------------

Fuente: Elaboración propia

Los valores de acero balanceado, acero mínimo y acero máximo se obtuvieron de acuerdo al expediente técnico, considerando la sección de la viga analizada.

Para la presentación del plano pueden ser $6\phi 1'' = 30.6\text{cm}^2$

b) Rediseño de losa aligerada

Para poder rediseñar los elementos se tiene que despejar la función de módulo de elasticidad.

Acero positivo (Mu+)

$$A_{smin+} = \frac{0.7 * \frac{E_{cexp}}{15000}}{f_y} * b_w * d = \frac{0.7 * \frac{249,883.13}{15000}}{4200} * 10 * 22 \quad (151)$$

$$= 0.61.m^2$$

$$C_b = \left(\frac{0.003}{0.0021 + 0.003} \right) * 22 = 12.94cm \quad (152)$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 * \left(\frac{249883.13}{15000} \right)^2 * 5 * 40 + (12.94 * 0.85 - 5) * 10}{4200} \quad (153)$$

$$= 14.60cm^2$$

$$A_{smax+} = 0.75 * 14.60 = 10.95cm^2 \quad (154)$$

Acero negativo (Mu-)

$$M_{cr} = \frac{I * f_r}{c} = 0.75Ton * m \quad (155)$$

$$a_{min} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * 1.2 * M_{cr}}{\phi * 0.85 * \left(\frac{E_{cexp}}{15000}\right)^2 * b_w}} \quad (156)$$

$$= 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 1.2 * 0.75 * 10^5}{0.9 * 0.85 * \left(\frac{249883.13}{15000}\right)^2 * 10}}$$

$$= 2.01 \text{ cm}$$

$$A_{smin} = \frac{1.2 * M_{cr}}{\phi * f_y * \left(d - \frac{a_{min}}{2}\right)} = \frac{1.2 * 0.75 * 10^5}{0.9 * 4200 * \left(22 - \frac{2.01}{2}\right)} = 1.13 \text{ cm}^2 \quad (157)$$

$$C_b = \left(\frac{0.003}{0.0021 + 0.003}\right) * d = 12.94 \text{ cm} \quad (158)$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 * f'_c * (C_b * 0.85) * b_w}{f_y} \quad (159)$$

$$= \frac{0.85 * \left(\frac{249883.13}{15000}\right)^2 * (12.94 * 0.85) * 10}{4200} = 6.17 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.75 * A_{sb} = 4.63 \text{ cm}^2 \quad (160)$$

Calculo de “a” con Mu=-0.902 tn-m

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 * \left(\frac{E_{cexp}}{15000}\right)^2 * b_w}} \quad (161)$$

$$= 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 0.902 * 10^5}{0.9 * 0.85 * \left(\frac{249883.13}{15000}\right)^2 * 10}} = 2.02 \text{ cm}$$

Calculo de “a” con Mu+=0.375 tn-m

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'c * bw}} \quad (162)$$

$$= 22 - \sqrt{22^2 - \frac{2 * 0.375 * 10^5}{0.9 * 0.85 * \left(\frac{249883.13}{15000}\right)^2 * 10}} = 0.82cm$$

Calculo de As requerido

$$As- = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{0.902 * 10^5}{0.90 * 4200 * \left(22 - \frac{2.02}{2}\right)} = 1.14cm^2 \quad (163)$$

$$As+ = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{0.375 * 10^5}{0.90 * 4200 * \left(22 - \frac{0.82}{2}\right)} = 0.46cm^2 \quad (164)$$

Tabla 7

Resumen de acuerdo al calculado

	Acero requerido	Acero mínimo	Acero Máximo
Mu -	As-=1.14cm ²	Amín=1.13cm ²	Amax=4.63cm ²
Mu +	As+=0.46cm ²	Amín=0.61cm ²	Amax=10.95cm ²

Fuente: Elaboración propia

Los valores de acero requerido, acero mínimo y acero máximo se obtuvieron de acuerdo al expediente técnico, considerando los momentos negativos (Mu-) y positivo (Mu+) de la sección analizada.

Para la presentación del plano pueden ser $1\phi 1/2'' = 1.29cm^2$

3.1.3. Del objetivo 3: Determinar la relación de los cálculos rediseñados obtenidos con el expediente técnico

3.1.3.1. Relación de los cálculos rediseñados y obtenidos con el expediente técnico

a) Relación del rediseño de vigas

En la construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola, de acuerdo con el análisis estructural realizado en el módulo 6 (administración), en el primer nivel y en el eje 16, se obtuvo una variación del acero balanceado de 104.61%, lo que significa una variación de 4.61% en el cálculo del acero.

El cuadro nos muestra una viga de 30x70, con aceros en la parte inferior de 6Ø1", de acuerdo con este dato.

Tabla 8

Relación de los valores del expediente del elemento viga

	Acero requerido(cm2)	Acero mínimo (cm2)	Acero Máximo(cm2)
De acuerdo al expediente técnico.	24.75	4.78	31.55
De acuerdo al cálculo realizado	23.61	5.497	41.70
Variación(cm2)	1.14	0.717	10.15

Fuente: Elaboración propia

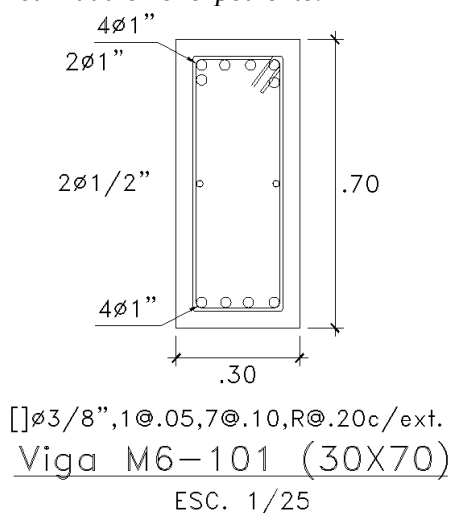
La tabla muestra la comparación entre los valores de acero balanceado, mínimo y máximo obtenidos del expediente técnico y los calculados en la presente investigación, junto con el porcentaje de variación entre ambos.

De acuerdo al expediente técnico

La Figura 26 muestra la sección de corte transversal de la viga M6-102, con dimensiones de 0.30 x 0.70 m, obtenida del expediente técnico. En la parte superior de la sección se observa la disposición de 4 varillas de 1" y 2 varillas de 1", mientras que en la zona intermedia se ubican 2 varillas de 1/2". En la parte inferior se repite la distribución de 4 varillas de 1". Asimismo, se especifica el detalle del refuerzo transversal mediante estribos de 3/8", con un espaciamiento de 1 a 0.05 m, 7 a 0.10 m y el resto a 0.20 m en los extremos de la viga.

Figura 26

Sección de corte de la viga realizada en el expediente.

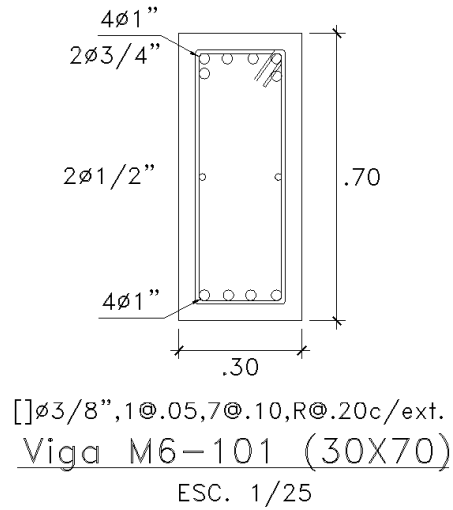


Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de los planos se empleó el criterio de la cuantía balanceada, el cual permitió plantear, con fines de reducción de costos, una combinación de 4 varillas de acero de 1" y 2 varillas de 3/4". Tal como se observa en la Figura 27, correspondiente a la sección analizada, el área de acero resultante es de 26.08 cm², valor que cumple satisfactoriamente con el requerimiento de diseño establecido.

Figura 27

Sección de corte de la viga realizada con los calculos.



Fuente: Elaboración propia

b) Relación del rediseño de losa aligerada

Tabla 9

Relación de los valores del expediente del elemento losa aligerada del cuantía de acero

	Acero requerido	Acero mínimo	Acero Máximo
Mu -	As-=1.14cm ²	Amín=1.13cm ²	Amax=4.63cm ²
Mu +	As+=0.46cm ²	Amín=0.61cm ²	Amax=10.95cm ²

Fuente: Elaboración propia

Los valores de acero requerido, mínimo y máximo se obtuvieron de acuerdo al expediente técnico, considerando los momentos negativos (Mu-) y positivo (Mu+) del elemento losa aligerada.

Tabla 10

Relación de los valores del expediente del elemento losa aligerada del acero requerido

As + requerido	As - requerido
-------------------	-------------------

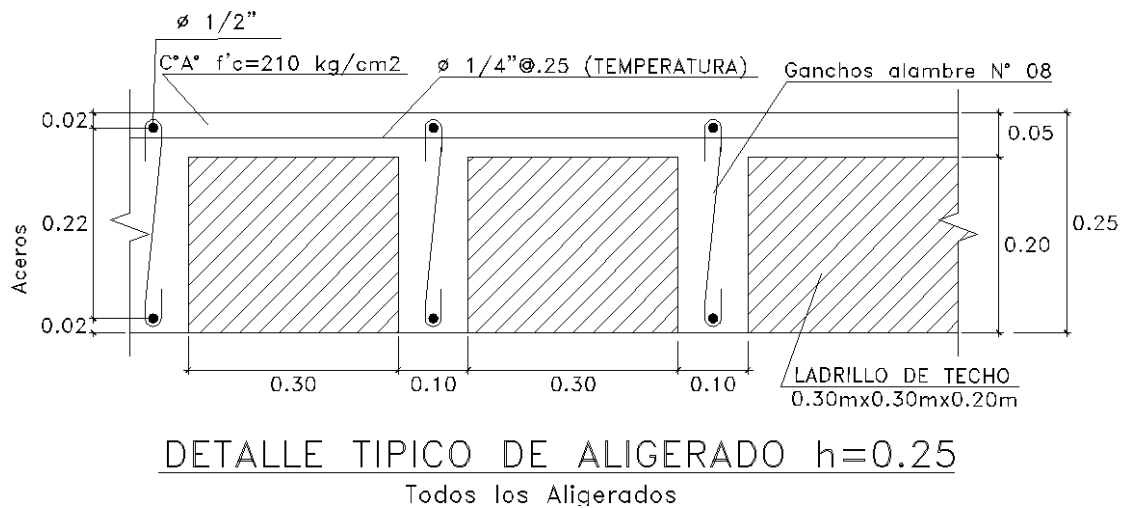
De acuerdo al expediente técnico.	1.16	0.462
De acuerdo al cálculo realizado	1.14	0.46
Variación(cm2)	0.02	0.002

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 muestra la comparación entre los valores de acero positivo (A_s^+) y negativo (A_s^-) requeridos obtenidos del expediente técnico y los calculados en la presente investigación, junto con el porcentaje de variación entre ambos.

Para la elaboración de los planos se consideró el criterio de la cuantía balanceada, el cual es aplicable también al caso de la losa aligerada con acero de 1/2". Según se observa en la Figura 28, correspondiente a la sección de la losa aligerada conforme al expediente técnico, el área de acero obtenida es de 1.29 cm^2 , cumpliendo con el requerimiento establecido tanto para el acero positivo como para el acero negativo

Figura 28
sección de corte de la losa aligerada típica.



Fuente: Elaboración propia

• Comprobación

1. Formulación de hipótesis nula y alternativa

H₀: El módulo de elasticidad calculado en la construcción del pabellón de ingeniería agrícola No influye significativamente en el diseño por flexión.

H₁: Con el módulo de elasticidad calculado influye en los diseños.

3.2. Discusiones

Los resultados que hemos obtenido respecto a la hipótesis general sobre el módulo de elasticidad varía en función de la resistencia del concreto obtenidos de los 100 testigos, se realizó un análisis de regresión potencial el cual $E_{cexp} = 39917 * f_c^{0.3271}$ con un coeficiente de relación de $R^2=0.8556$. Este valor R^2 . El valor de R^2 indica que el moldeo explica la variabilidad de módulo de elasticidad en función a su resistencia para los agregados de la cantera Chanchará.

Cuando se comparó la ecuación con la fórmula normativa de la E0.60 que es $E_c = 15000 * \sqrt{f_c}$ equivalente a un exponente teórico de 0.5, se observa que el exponente no experimentalmente es

0.3271 el cual es relativamente menor. Estos valores nos sugieren que para los materiales de esta cantera, el módulo de elasticidad crece de forma más lenta, lo cual podría deberse a las propiedades mineralógicas y de rigidez propias del agregado local, tal como fue señalado por Haaman & Huamán (2020) al encontrar variaciones regionales del E_c respecto al valor normado. Esta diferencia respalda lo dispuesto en el artículo 8.5.3 de la norma E.060, que permite el uso de valores de E_c distintos al teórico siempre que estén sustentados en ensayos de laboratorio.

Para el rediseño se empleó un valor no experimental de $E_c=249,883.16$, resultado del promedio del valor del módulo de elasticidad. De acuerdo a las ecuaciones de diseño de flexión dependen directamente de f'_c equivalente y no de E_c de forma explícita, para este rediseño se empleó el valor de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ utilizado en el expediente. Esto fue la práctica adoptada en la presente investigación para trasladar el efecto del módulo de elasticidad real hacia las ecuaciones de resistencia. Por ejemplo, en la viga eje 16 redujo el bloque de compresión a de 19.41 cm a 14.01 cm y el acero requerido de 24.75 cm^2 a 23.61 cm^2 variando en un 4.61 %. Sin embargo en los límites de refuerzo de acero mínimo se aumentó de 4.78 a 5.497 variando en 15% y en el acero máximo permisible aumento de 31.55 a 41.70 cm variando en 24.34 %. Finalmente el acero considerado fue $6\phi 1''=30.6\text{ cm}^2$ se mantuvo sin cambios ya que este valor satisface los límites máximo y mínimos tanto del diseño original como del rediseño.

En la losa aligerada, en cambio, las variaciones fueron considerablemente menores inferiores al 2%, lo que sugiere que la influencia del módulo de elasticidad real sobre el diseño por flexión depende del nivel de sollicitación del elemento: en elementos con mayor demanda de momento flector, como las vigas, el efecto del E_c real es más perceptible que en elementos con menor demanda relativa a su capacidad, como la losa aligerada.

Conclusiones

En la investigación realizada en la construcción de los pabellones de Ingeniería Agrícola, se concluye que el módulo de elasticidad real del concreto sí influye en el diseño de los elementos por flexión.

1. Se determinó un módulo de elasticidad no experimental promedio de 247,763.88 kg/cm² para el concreto $f'_c=210$ kg/cm² elaborado con agregados de la cantera Chanchará, valor superior al calculado teóricamente mediante la norma E.060 217,370.65 kg/cm². La ecuación de regresión potencial que mejor ajustó los datos fue $E_c=39917 \cdot f'_c^{0.3271}$, con un coeficiente de determinación $R^2=0.8556$, lo que indica un ajuste estadísticamente aceptable.
2. El rediseño de los elementos por flexión utilizando el módulo de elasticidad real mostró una reducción de 4.61% en el acero requerido de la viga del eje 16, junto con un incremento de 15.00% en el acero mínimo y de 24.34% en el acero máximo permisible; en la losa aligerada las variaciones fueron menores al 2%. El acero especificado para construcción no varió respecto al expediente técnico en ninguno de los dos elementos.
3. Se determinó que existe relación entre los cálculos rediseñados y los valores del expediente técnico: aunque las cuantías varían entre 0.43% y 24.34% según el elemento y el tipo de acero analizado, el refuerzo especificado en el expediente técnico se mantiene dentro de los rangos admisibles recalculados, por lo que se concluye que los elementos evaluados conservan su validez estructural frente al módulo de elasticidad real determinado no experimentalmente.

Recomendaciones

- a) Se recomienda realizar ensayos experimentales para determinar el módulo de elasticidad del concreto utilizado en proyectos de concreto armado, especialmente cuando los agregados provengan de canteras locales, con la finalidad de obtener valores representativos de las condiciones reales de los materiales.
- b) Se recomienda realizar una comparación entre el diseño estructural del expediente técnico y el rediseño basado en parámetros obtenidos experimentalmente, verificando que los elementos y cuantías de acero cumplan con los requisitos normativos antes de su aplicación en obra

Futuras líneas de investigación

- a) En la misma línea de investigación se sugiere que en investigaciones futuras se realice el cálculo de los módulos de elasticidad de las diferentes canteras y también utilizar los diferentes tipos de cemento para poder así dar un valor regionalizado de módulo de elasticidad.
- b) Realizar los diferentes módulos de elasticidad para concretos con $f_c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'_c=280\text{ kg/cm}^2$ porque también se utilizan ese tipo de resistencias en el diseño de elementos estructurales.

REFERENCIAS-BIBLIOGRÁFICAS

- 318-19, A. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute.
- 339.034., N. N. (2013). *Hormigón. Método de Ensayo Normalizado Para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en Muestras Cilíndricas*. Perú: R. 2013-CRT-INDECOPI.
- 339.183, N. N. (2013). *Hormigón. Práctica Normalizada Para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio*. Lima: R 2013-CRT-INDECOPI.172.
- Argumedo Ochoa, B. F. (2024). *Resistencia mecánica del concreto de ultra alto desempeño reforzado con fibras de acero (UHPFRC), y agregados locales, Huamanga - Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de Concreto armado* (2.^a ed.). Lima.
- Cuba Escalante, N. (2024). *Influencia de la adición de la fibra de Agave sisalana en la resistencia mecánica del concreto para pavimentos rígidos, Ayacucho - 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Escarcena Gutiérrez, J. L. (2023). *Propiedades mecánicas del pavimento rígido empleando fibras de acero, Ayacucho 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Escobedo Muñoz, C. A., & Torres Jara, N. J. (2022). *Análisis del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y resistencia a la compresión del concreto estructural por la influencia de material pasante de la malla N° 200* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú].
- Galindo Reascos, K. A. (2022). *Análisis comparativo y correlación de los ensayos: esclerómetro, ultrasonido y extracción de núcleos, para determinar la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del hormigón endurecido*. Escuela Politécnica Nacional.

- Haaman Cuellar, C. A., & Huamán Apaza, I. J. (2020). *Evaluación y comparación del módulo de elasticidad del concreto (E_c) en el tiempo en la ciudad de Arequipa*.
- Harmsen, T. (2019). *El concreto y sus componentes*. Lima: Macro.
- Hernández, S. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- López, E. R. (2000). *Materiales de Concreto*. Lima: ACI-Perú.
- McCormac, J. (2011). *Diseño de Concreto Armado* (8.^a ed.). México.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060: Concreto Armado*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*. Lima: Macro.
- Naciones Unidas. (2024). *Objetivo de Desarrollo Sostenible 9: Industria, innovación e infraestructura*.
- Neira Peña, Y. S. (2023). *Estudio del módulo de elasticidad del concreto en la Región Lambayeque*. Universidad Señor de Sipán.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Pearson Education Limited.
- Ortiz, A. R., Carrillo, J., Toro, A. T., & Ibargüen, S. L. (2021). *Evaluación de la incertidumbre asociada al módulo de elasticidad del concreto producido en Colombia*. Reporte CEER 001-2021.
- Ottazzi, G. (2011). *Diseño en Concreto Armado*. Lima: EDIGRAFASA.
- Ramírez Arellanes, S., Ramírez Ortiz, A. E., Cosmes López, M. F., & García Carrasco, J. L. (2021). Determinación del módulo de elasticidad y relación de Poisson del mortero cemento-arena para la Ciudad de Oaxaca y área conurbada. *Revista IPSUMTEC*, 4(2), 41–48.
- Rochel, R. (2007). *Hormigón Reforzado*. Medellín.

- Ruiz Sánchez, D. A. (2021). *Determinación del módulo de elasticidad del concreto simple utilizando cemento tipo MS para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de las canteras Tres Tomas y la Victoria en el año 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
- Sánchez, D. M., Chiliquinga, J., Flores, E., & Orosco, M. (2020). Módulo estático de elasticidad del hormigón fabricado con agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador. *Revista Politécnica*, 46(1), 29–38. <https://doi.org/10.33333/rp.vol46n1.03>
- Secretaría de Economía. (2021). *NMX-C-128-ONNCCE-2020, Industria de la construcción-Concreto sometido a compresión-Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson-Método de ensayo*. Diario Oficial de la Federación.
- Surco Bellido, J. C. (2025). *Influencia de la adición de fibras de bambú en el comportamiento físico mecánico del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con cemento puzolánico tipo IP para pavimentos rígidos de mediano tránsito Ayacucho, 2024*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Tamayo, M. T. (2012). *La investigación científica*. México: Limusa.
- Yaipen Trelles, R. A. (2022). *Determinación del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, módulo de corte, del concreto, utilizando materiales de la región de Piura* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].

ANEXOS

1. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 29

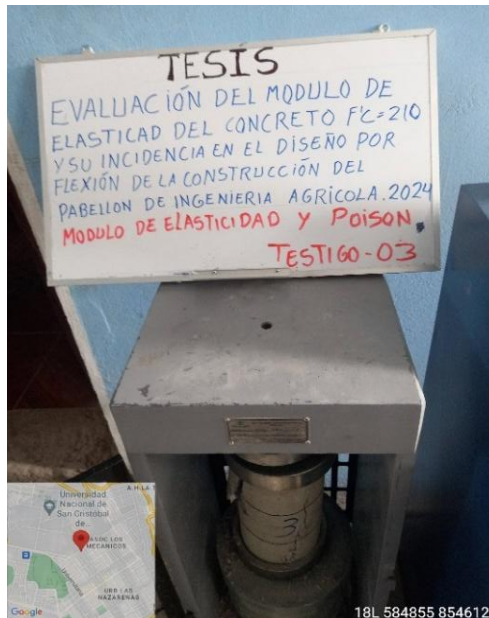
Antes de la rotura del testigo3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

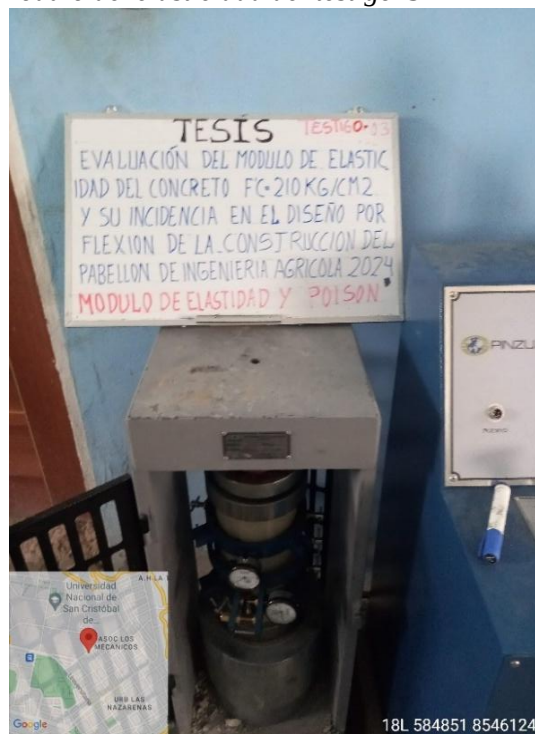
Después de la rotura del testigo3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

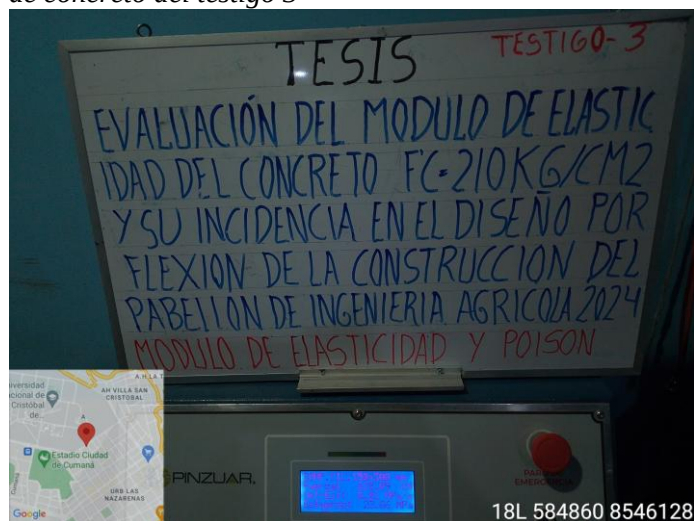
Ensayo de la elaboración del módulo de elasticidad del testigo 3



Fuente: Elaboración propia

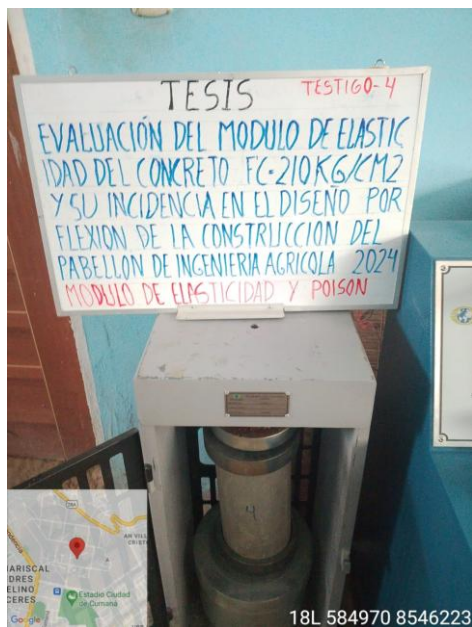
Figura 32

Resultados de la rotura de concreto del testigo 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 33
Antes de la rotura 4



Fuente: Elaboración propia

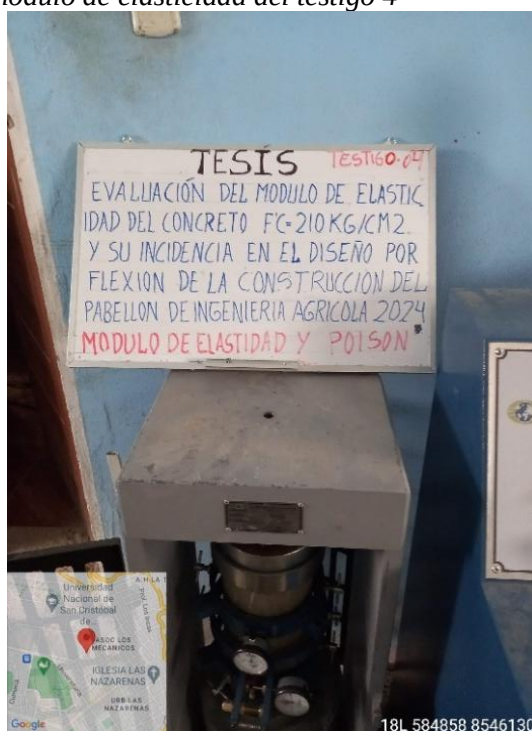
Figura 34
Después de la rotura del testigo 4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

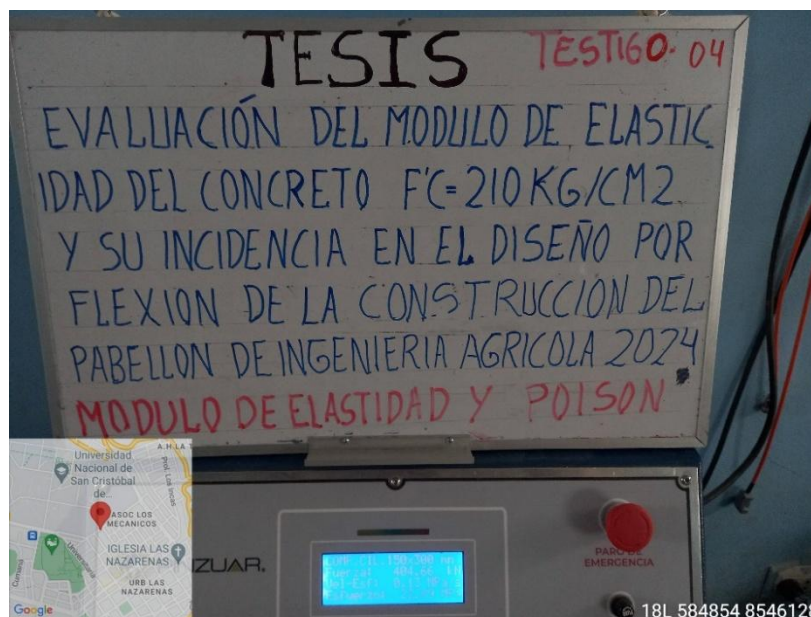
Ensayo de la elaboración de módulo de elasticidad del testigo 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Restados de la rotura del testigo 4



Fuente: Elaboración propia

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f_c=210$ KG/CM², Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m ³)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f_c (Kg/cm ²)	RESISTENCIA DE DISEÑO f_c (kg/cm ²)	% RESISTENCIA DE TESTIGO
1	Testigo 1	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.10	29.80	2305	431.90	228.52	210	109.00
2	Testigo 2	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.10	29.70	2302	432.87	243.20	210	116.00
3	Testigo 3	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.10	2307	422.36	241.26	210	115.00
4	Testigo 4	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2316	425.52	325.29	210	155.00
5	Testigo 5	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.35	314.17	210	150.00
6	Testigo 6	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.26	242.69	210	116.00
7	Testigo 7	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	244.32	210	116.00
8	Testigo 8	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.73	246.46	210	117.00
9	Testigo 9	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2371	435.47	331.41	210	158.00
10	Testigo 10	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2207	405.44	225.25	210	107.00
11	Testigo 11	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2237	410.97	248.71	210	118.00
12	Testigo 12	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2252	413.61	219.65	210	105.00
13	Testigo 13	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2217	407.30	281.95	210	134.00
14	Testigo 14	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2214	406.79	252.89	210	120.00
15	Testigo 15	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	226	41.51	254.72	210	121.00
16	Testigo 16	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2282	419.11	258.39	210	123.00
17	Testigo 17	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2384	438.00	318.66	210	152.00
18	Testigo 18	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2212	406.28	260.33	210	124.00
19	Testigo 19	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2211	406.12	262.07	210	125.00
20	Testigo 20	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.25	266.25	210	127.00
21	Testigo 21	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2212	406.28	337.12	210	161.00
22	Testigo 22	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.26	268.29	210	128.00
23	Testigo 23	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2263	415.73	269.61	210	128.00
24	Testigo 24	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.00	30.00	2326	438.71	319.27	210	152.00
25	Testigo 25	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2384	438.00	342.62	210	163.00
26	Testigo 26	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	270.94	210	129.00
27	Testigo 27	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2252	413.61	271.96	210	130.00

 HIDROTERRA INGENIERIA
 Y CONSTRUCCION EIRL

 Victor Hugo Prado
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y CONCRETO

**ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DEL CONCRETO
 (NTP 339.034/MTC E 704)**

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f'_c=210$ KG/CM², Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m ³)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f'_c (Kg/cm ²)	RESISTENCIA DE DISEÑO f'_c (kg/cm ²)	% RESISTENCIA DE TESTIGO
28	Testigo 28	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2324	426.87	273.79	210	130.00
29	Testigo 29	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2327	427.54	275.42	210	131.00
30	Testigo 30	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.16	269.71	210	128.00
31	Testigo 31	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	276.65	210	132.00
32	Testigo 32	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.97	282.87	210	135.00
33	Testigo 33	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2309	424.07	259.62	210	124.00
34	Testigo 34	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2311	424.44	277.67	210	132.00
35	Testigo 35	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	423.06	248.91	210	119.00
36	Testigo 36	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2282	419.17	224.95	210	107.00
37	Testigo 37	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2267	416.47	255.54	210	122.00
38	Testigo 38	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2268	416.58	278.69	210	133.00
39	Testigo 39	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2268	416.58	321.82	210	153.00
40	Testigo 40	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2381	437.33	337.73	210	161.00
41	Testigo 41	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	223.93	210	107.00
42	Testigo 42	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2321	426.33	422.06	210	201.00
43	Testigo 43	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2319	426.02	256.36	210	122.00
44	Testigo 44	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2322	426.50	381.47	210	182.00
45	Testigo 45	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2337	429.23	302.45	210	144.00
46	Testigo 46	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2310	424.30	263.19	210	125.00
47	Testigo 47	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2313	424.84	301.53	210	144.00
48	Testigo 48	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2312	424.71	351.19	210	167.00
49	Testigo 49	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2343	430.38	288.88	210	138.00
50	Testigo 50	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2323	426.70	393.10	210	187.00
51	Testigo 51	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2385	438.17	342.42	210	163.00
52	Testigo 52	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2329	427.88	269.82	210	128.00
53	Testigo 53	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2322	426.53	287.25	210	137.00
54	Testigo 54	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.90	275.63	210	131.00
55	Testigo 55	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2300	422.48	223.52	210	106.00

 HIDROTERRA INGENIERIA
 Y CONSTRUCCION E.I.R.L.

 Victor Hugo Yvaranga Prado
 CIP: 222247
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y CONCRETO

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f'_c=210$ KG/CM2, Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m3)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f'_c (Kg/cm2)	RESISTENCIA DE DISEÑO f'_c (kg/cm2)	% RESISTENCIA DE TESTIGO
56	Testigo 56	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.83	334.57	210	159.00
57	Testigo 57	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2300	422.48	265.94	210	127.00
58	Testigo 58	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	255.44	210	122.00
59	Testigo 59	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.33	292.96	210	140.00
60	Testigo 60	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2298	422.14	299.18	210	142.00
61	Testigo 61	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2301	422.65	281.44	210	134.00
62	Testigo 62	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2302	422.82	333.65	210	159.00
63	Testigo 63	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.16	384.13	210	183.00
64	Testigo 64	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.83	362.10	210	172.00
65	Testigo 65	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2342	430.24	302.24	210	144.00
66	Testigo 66	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2340	429.91	281.95	210	134.00
67	Testigo 67	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2338	429.57	222.60	210	106.00
68	Testigo 68	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2337	429.23	372.70	210	177.00
69	Testigo 69	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2344	430.58	384.53	210	183.00
70	Testigo 70	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2348	431.26	455.40	210	217.00
71	Testigo 71	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2349	431.59	462.24	210	220.00
72	Testigo 72	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2217	407.30	354.25	210	169.00
73	Testigo 73	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2380	437.26	326.31	210	155.00
74	Testigo 74	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2320	426.19	270.94	210	129.00
75	Testigo 75	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2317	425.69	312.34	210	149.00
76	Testigo 76	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2314	425.01	349.86	210	167.00
77	Testigo 77	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2333	428.56	396.16	210	189.00
78	Testigo 78	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2335	428.89	360.57	210	172.00
79	Testigo 79	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2338	429.57	351.70	210	167.00
80	Testigo 80	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	396.16	210	189.00
81	Testigo 81	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2320	426.19	292.96	210	140.00
82	Testigo 82	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2319	426.02	363.73	210	173.00
83	Testigo 83	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2313	424.84	293.57	210	140.00

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f'_c=210$ KG/CM², Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m ³)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f'_c (Kg/cm ²)	RESISTENCIA DE DISEÑO f'_c (kg/cm ²)	% RESISTENCIA DE TESTIGO
84	Testigo 84	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2309	424.17	242.49	210	115.00
85	Testigo 85	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2324	426.87	295.61	210	141.00
86	Testigo 86	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2327	427.44	282.87	210	135.00
87	Testigo 87	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2329	427.88	291.94	210	139.00
88	Testigo 88	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2289	420.46	270.63	210	129.00
89	Testigo 89	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2365	434.49	314.48	210	150.00
90	Testigo 90	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2316	425.52	225.36	210	107.00
91	Testigo 91	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	285.11	210	136.00
92	Testigo 92	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2332	428.45	390.86	210	186.00
93	Testigo 93	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2220	407.80	239.94	210	114.00
94	Testigo 94	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.97	225.15	210	107.00
95	Testigo 95	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2325	427.10	234.53	210	112.00
96	Testigo 96	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2302	422.82	231.98	210	110.00
97	Testigo 97	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	233.92	210	111.00
98	Testigo 98	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2372	435.64	311.62	210	148.00
99	Testigo 99	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2353	432.27	348.54	210	166.00
100	Testigo 100	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	297.25	210	142.00

HIDROTERRA INGENIERIA
Y CONSTRUCCION EIRL

Victor Hugo
ESPECIALISTA EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

**ENSAYO MODULO DE E LASTICIDAD
(ASTM C469)**

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$, Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

Nº	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m3)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f'_c (Kg/cm2)	MODULO DE E ELASTICIDAD EXPERIMENTAL (kg/c m2)	MODULO DE E ELASTICIDAD REAL (kg/cm2)
1	Testigo 1	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.10	29.80	2305	431.90	228.52	234,300.99	226,751.80
2	Testigo 2	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.10	29.70	2302	432.87	243.20	244,190.21	233,923.58
3	Testigo 3	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.10	2307	422.36	241.26	240,876.62	232,989.95
4	Testigo 4	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2316	425.52	325.29	261,741.37	270,536.06
5	Testigo 5	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.35	314.17	260,431.32	265,873.87
6	Testigo 6	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.26	242.69	244,074.00	233,678.25
7	Testigo 7	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	244.32	244,444.21	234,462.41
8	Testigo 8	01/08/2024	29/08/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.73	246.46	244,922.88	235,487.65
9	Testigo 9	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2371	435.47	331.41	262,427.11	273,068.43
10	Testigo 10	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2207	405.44	225.25	233,387.52	225,127.05
11	Testigo 11	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2237	410.97	248.71	251,419.87	236,556.95
12	Testigo 12	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2252	413.61	219.65	235,207.76	222,306.76
13	Testigo 13	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2217	407.30	281.95	251,222.34	251,870.55
14	Testigo 14	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2214	406.79	252.89	246,311.55	238,536.95
15	Testigo 15	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	226	41.51	254.72	254,886.77	239,401.04
16	Testigo 16	03/08/2024	31/08/2024	28.00	15.20	30.00	2282	419.11	258.39	246,184.06	241,119.94
17	Testigo 17	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2384	438.00	318.66	260,970.51	267,765.63
18	Testigo 18	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2212	406.28	260.33	248,278.45	242,022.21
19	Testigo 19	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2211	406.12	262.07	248,635.69	242,826.67
20	Testigo 20	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.25	266.25	249,477.71	244,755.95
21	Testigo 21	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2212	406.28	337.12	283,283.91	275,410.97
22	Testigo 22	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.26	268.29	249,878.72	245,691.56
23	Testigo 23	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.20	30.00	2263	415.73	269.61	250,136.05	246,297.80
24	Testigo 24	06/08/2024	03/09/2024	28.00	15.00	30.00	2326	438.71	319.27	261,042.93	268,022.56
25	Testigo 25	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2384	438.00	342.62	283,575.08	277,651.13
26	Testigo 26	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	270.94	250,390.81	246,902.56
27	Testigo 27	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2252	413.61	271.96	250,585.05	247,366.75
28	Testigo 28	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2324	426.87	273.79	250,930.96	248,200.10
29	Testigo 29	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2327	427.54	275.42	251,234.49	248,938.52
30	Testigo 30	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.16	269.71	250,155.74	246,344.38
31	Testigo 31	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	276.65	251,459.73	249,490.90
32	Testigo 32	08/08/2024	05/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.97	282.87	248,270.04	252,280.13
33	Testigo 33	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2309	424.07	259.62	246,988.95	241,690.18
34	Testigo 34	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2311	424.44	277.67	251,645.88	249,950.28
35	Testigo 35	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	423.06	248.91	245,460.12	236,653.92
36	Testigo 36	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2282	419.17	224.95	233,300.60	224,974.12
37	Testigo 37	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2267	416.47	255.54	246,290.82	239,784.08
38	Testigo 38	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2268	416.58	278.69	251,830.65	250,408.82

HIDROTERRA INGENIERIA
Y CONSTRUCCION E.I.R.L.
Vicio Hugo Yavanga Prado
CIP 222247
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y CONCRETO

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f_c=210 \text{ KG/CM}^2$, Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m3)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f_c (Kg/cm2)	MODULO DE E ELASTICIDAD EXPERIMENTAL (kg/c m2)	MODULO DE E ELASTICIDAD REAL (kg/cm2)
39	Testigo 39	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2268	416.58	321.82	261,341.88	269,090.47
40	Testigo 40	12/08/2024	09/09/2024	28.00	15.20	30.00	2381	437.33	337.73	281,974.17	275,660.78
41	Testigo 41	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	223.93	233,009.25	224,463.63
42	Testigo 42	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2321	426.33	422.06	283,877.39	280,037.28
43	Testigo 43	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2319	426.02	256.36	247,032.84	240,166.51
44	Testigo 44	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2322	426.50	381.47	239,618.60	229,717.32
45	Testigo 45	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2337	429.23	302.45	254,306.63	260,864.74
46	Testigo 46	15/08/2024	12/09/2024	28.00	15.20	30.00	2310	424.30	263.19	248,864.28	243,345.78
47	Testigo 47	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2313	424.84	301.53	253,625.60	260,468.66
48	Testigo 48	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2312	424.71	351.19	246,440.23	238,825.32
49	Testigo 49	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2343	430.38	288.88	251,405.71	254,948.88
50	Testigo 50	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2323	426.70	393.10	260,168.84	264,966.23
51	Testigo 51	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2385	438.17	342.42	281,264.19	277,568.49
52	Testigo 52	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2329	427.88	269.82	250,175.41	246,390.94
53	Testigo 53	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2322	426.53	287.25	248,829.05	254,227.92
54	Testigo 54	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.90	275.63	251,272.17	249,030.67
55	Testigo 55	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2300	422.48	223.52	232,892.01	224,259.11
56	Testigo 56	16/08/2024	13/09/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.83	334.57	240,876.62	244,615.29
57	Testigo 57	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2300	422.48	265.94	249,417.02	244,615.29
58	Testigo 58	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	255.44	246,604.19	239,736.23
59	Testigo 59	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.33	292.96	251,293.47	256,742.42
60	Testigo 60	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2298	422.14	299.18	252,326.82	259,453.70
61	Testigo 61	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2301	422.65	281.44	243,750.88	251,642.71
62	Testigo 62	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2302	422.82	333.65	262,672.59	273,991.10
63	Testigo 63	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2304	423.16	384.13	262,337.06	272,732.14
64	Testigo 64	19/08/2024	16/09/2024	28.00	15.20	30.00	2307	423.83	362.10	244,490.15	234,560.24
65	Testigo 65	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2342	430.24	302.24	253,587.92	260,776.78
66	Testigo 66	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2340	429.91	281.95	247,343.90	251,870.55
67	Testigo 67	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2338	429.57	222.60	232,626.72	223,798.25
68	Testigo 68	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2337	429.23	372.70	235,244.93	227,206.67
69	Testigo 69	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2344	430.58	384.53	235,244.93	226,599.97
70	Testigo 70	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2348	431.26	455.40	261,903.54	271,129.06
71	Testigo 71	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2349	431.59	462.24	246,562.28	252,825.21
72	Testigo 72	21/08/2024	18/09/2024	28.00	15.20	30.00	2217	407.30	354.25	230,585.06	220,337.11
73	Testigo 73	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2380	437.26	326.31	261,857.34	270,959.76
74	Testigo 74	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2320	426.19	270.94	250,390.81	246,902.56
75	Testigo 75	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2317	425.69	312.34	260,206.55	265,096.08
76	Testigo 76	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2314	425.01	349.86	259,672.28	263,272.31

HIDROTERRA INGENIERIA
Y CONSTRUCCION E.I.R.L.

Victor Hugo Yáñez Prado
CIP 202247
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y CONCRETO

TESIS

"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO $f_c=210 \text{ KG/CM}^2$, Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO POR FLEXIÓN, CASO CONSTRUCCIÓN DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL 2024".

N°	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO ESPECIMEN (mm)	ALTURA DE ESPECIMEN (mm)	PESO DEL ESPECIMEN (gr)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m3)	RESISTENCIA DEL ESPECIMEN f_c (Kg/cm2)	MODULO DE E ELASTICIDAD EXPERIMENTAL(kg/c m2)	MODULO DE E ELASTICIDAD REAL(kg/cm2)
77	Testigo 77	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2333	428.56	396.16	232,508.16	223,593.12
78	Testigo 78	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2335	428.89	360.57	240,876.62	231,409.00
79	Testigo 79	24/08/2024	21/09/2024	28.00	15.20	30.00	2338	429.57	351.70	235,760.89	229,417.49
80	Testigo 80	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	396.16	251,293.47	256,742.42
81	Testigo 81	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2320	426.19	292.96	251,293.47	256,742.42
82	Testigo 82	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2319	426.02	363.73	259,736.61	263,490.08
83	Testigo 83	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2313	424.84	293.57	251,397.05	257,010.37
84	Testigo 84	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2309	424.17	242.49	244,027.38	233,580.05
85	Testigo 85	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2324	426.87	295.61	253,946.57	257,901.53
86	Testigo 86	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2327	427.44	282.87	247,384.11	252,280.13
87	Testigo 87	26/08/2024	23/09/2024	28.00	15.20	30.00	2329	427.88	291.94	251,119.88	256,295.21
88	Testigo 88	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2289	420.46	270.63	250,332.25	246,763.13
89	Testigo 89	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2365	434.49	314.48	260,468.54	266,003.28
90	Testigo 90	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2316	425.52	225.36	233,416.45	225,178.00
91	Testigo 91	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2315	425.18	285.11	248,329.52	253,278.54
92	Testigo 92	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2332	428.45	390.86	251,140.03	248,708.00
93	Testigo 93	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2220	407.80	239.94	240,876.62	232,348.98
94	Testigo 94	29/08/2024	26/09/2024	28.00	15.20	30.00	2308	423.97	225.15	233,358.57	225,076.08
95	Testigo 95	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2325	427.10	234.53	239,618.60	229,717.32
96	Testigo 96	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2302	422.82	231.98	235,244.93	228,465.44
97	Testigo 97	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2303	422.99	233.92	235,760.89	229,417.49
98	Testigo 98	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2372	435.64	311.62	260,118.46	264,792.99
99	Testigo 99	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2353	432.27	348.54	246,998.13	241,547.75
100	Testigo 100	04/09/2024	02/10/2024	28.00	15.20	30.00	2318	425.86	297.25	258,363.59	258,612.25

HIDROTERRA INGENIERIA
Y CONSTRUCCION E.I.R.L

Victor Hugo Yarangá Prado
CIP. 232247
ESPECIALISTA EN CIENCIA Y CONCRETO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CALIBRATION CERTIFICATE



N° PDLS - 1064 - 2026

Expediente : TLPS-0270224-100083

Fecha de emisión : 28/03/2026

1. Solicitante : HIDROTERRA INGENIERIA Y
CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

RUC : 20600194462

2. Descripción del equipo : MÁQUINA DE COMPRESIÓN DE CONCRETO

Tipo : CON CONTROL DE VELOCIDAD

Marca : PINZUAR

Modelo : C020504

Número de serie : 525

Capacidad de fábrica : 1000 kN

Modelo de Indicador : PINZUAR

Procedencia : Colombia

3. Lugar y fecha

Lugar : Asoc. 9 de Diciembre, Etapa I Mz K Lt 17 Ayacucho

Fecha : 26/3/2026

4. Método de Calibración

La calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	NÚMERO DE SERIE	CERTIFICADO N°	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	20211101	INF-LE N° 241-25 (A)	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	V136007		

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

Gerzo Renato Rodríguez Bazalar
Auxiliar de Metrología

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

Ing. Diana S. Montenegro Carhuas
Jefe de Metrología



6. Condiciones Ambientales

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura °C	20.2	20.1
Humedad %	69%	70%

7. Resultados de la medición

TABLA N°1

SISTEMA DIGITAL "A" (kN)			SERIES VERIFICACIÓN (kN)						PROMEDIO "B" (kN)	ERROR Ep %
			SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	ERROR (1) %	ERROR (2) %	ERROR (3) %		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100.1	99.9	102.0	100.9	100.7	102.9	-0.79	-0.79	-0.87	101.5	-0.82
203.3	199.3	198.0	202.1	199.5	198.2	0.59	-0.10	-0.10	199.9	0.13
301.5	300.1	300.3	300.4	299.6	299.7	0.37	0.17	0.20	299.9	0.24
398.7	401.9	403.9	401.3	400.6	402.0	-0.65	0.32	0.47	401.3	0.05
507.9	501.6	499.5	510.3	499.6	498.6	-0.47	0.40	0.18	502.8	0.04
603.3	600.4	600.7	604.2	599.1	598.7	-0.15	0.22	0.33	600.7	0.13
700.2	699.2	699.5	704.1	698.6	697.6	-0.55	0.09	0.27	700.1	-0.07
800.0	800.2	799.8	801.4	797.8	795.4	-0.17	0.30	0.55	798.2	0.23

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

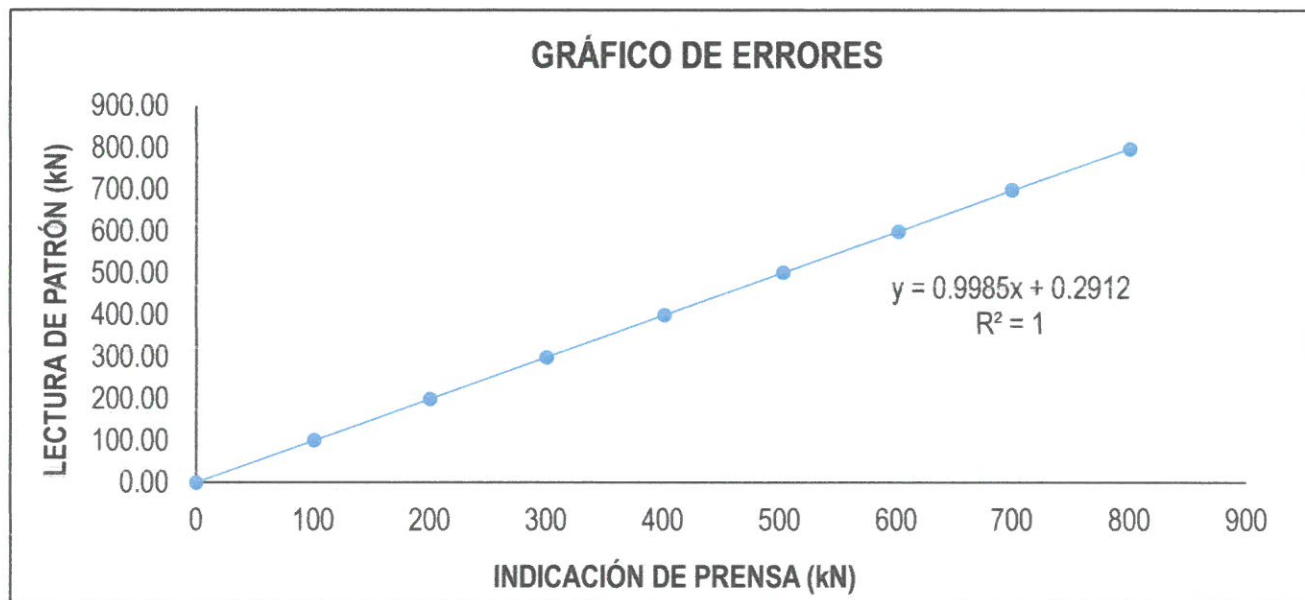
1.- La norma exige que Ep no exceda el 1,0 %

2.- Coeficiente Correlación: $R^2 = 1$

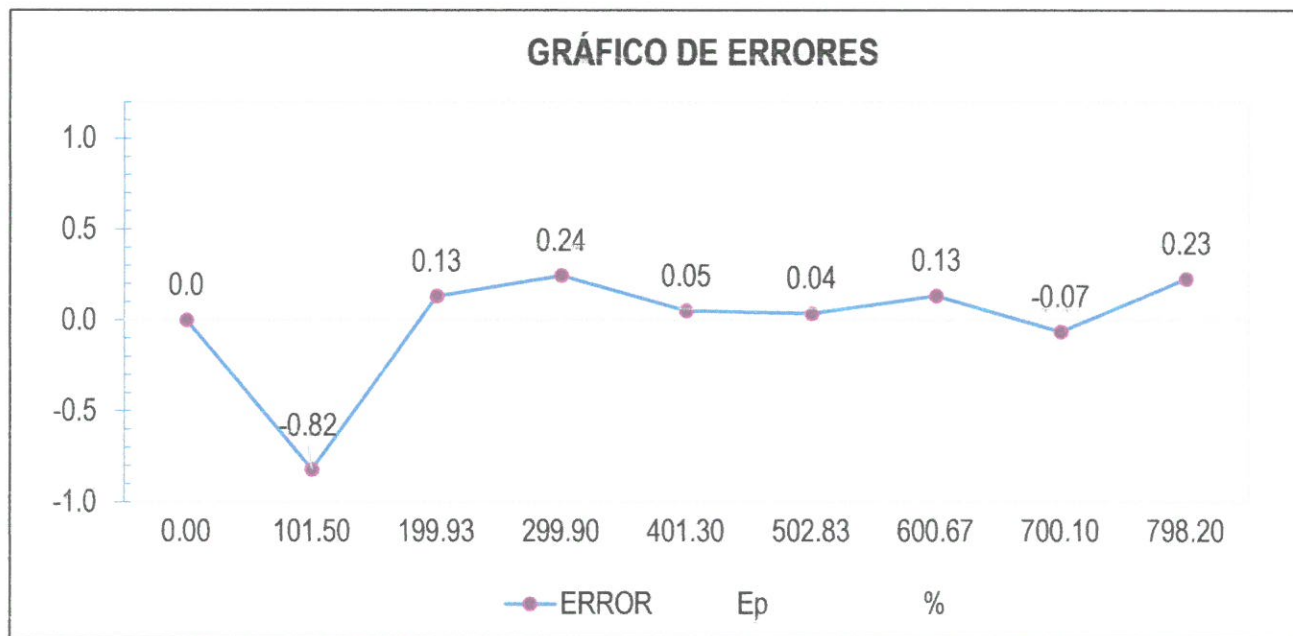
3.-Ecuación de ajuste: $y = 0.9985x + 0.2912$

Donde: Y: Lectura de Pantalla (kN) X: Fuerza promedio (kN)

GRÁFICA 1



GRÁFICA 2



8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva con el número de Certificación y fecha de calibración de la empresa TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. JOSUE GUTIERREZ LLANTOY
R.D. N° 475-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los veinticinco días del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las quince con treinta horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla, Dr. Richard Alex Oscoco Peceros como asesor, Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén y el Ing. John Samuel Cazorla Orihuela; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'c=210$ kg/cm², y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola del 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **JOSUE GUTIERREZ LLANTOY**.

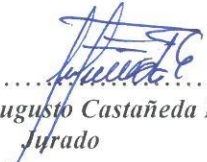
El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	16	15	16	16
Dr. Richard Alex Oscoco Peceros	16	16	16	16
Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén	13	13	13	13
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela	14	15	16	15
PROMEDIO GENERAL				15

OBSERVACION: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado, el título del trabajo de investigación debe ser: **Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'c=210$ kg/cm², y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola - 2024**

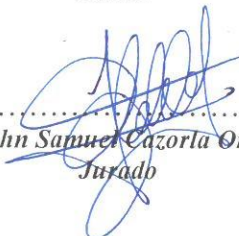
Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Presidente


Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén
Jurado


Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente


Dr. Richard Alex Oscoco Peceros
Asesor


Ing. John Samuel Cazorla Orihuela
Jurado

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.D N° 437-2026-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado;

Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola – 2024

Autor : Josue Gutierrez Llantoy
Asesor : Richard Alex Oscoco Perceros

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU N°039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de diez por ciento **(10 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3060754128

Ayacucho, 15 de octubre de 2026

.....
Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén
Docente Instructor - EPIA

Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola – 2024

por JOSUE GUTIERREZ LLANTOY

Fecha de entrega: 15-oct-2026 11:24a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3060754128

Nombre del archivo: TESIS_JOSUE_GUTIERREZ_LLANTOY_ACTUAL.pdf (4.18M)

Total de palabras: 19710

Total de caracteres: 114496

Evaluación del módulo de elasticidad del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, y su incidencia en el diseño por flexión, caso construcción del pabellón de Ingeniería Agrícola – 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	2%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet	7%
2	repositorio.unsch.edu.pe	Fuente de Internet	1%
3	repositorio.continental.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
4	tesis.usat.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uns.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
6	dspace.unach.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Blackboard	Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.unc.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	es.scribd.com	Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	Trabajo del estudiante	<1%

Módulo de elasticidad experimental del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y su efecto en el diseño por flexión de elementos estructurales en Ayacucho, Perú

Experimental modulus of elasticity of $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ concrete and its effect on the flexural design of structural elements in Ayacucho, Peru

Josué Gutiérrez Llantoy¹
Dr. Richard Alex Oscoco Perceros²

josue.gutierrez.21@unsch.edu.pe
richard.oscco@unsch.edu.pe

Área de investigación: Ingeniería y tecnología de materiales
Línea de investigación: Tecnología del concreto y diseño estructural

RESUMEN

El módulo de elasticidad (E_c) del concreto condiciona la rigidez y las deformaciones de los elementos estructurales, pero en el diseño suele estimarse con expresiones normativas. El objetivo fue determinar el E_c experimental de un concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y comparar el diseño por flexión de una viga y una losa aligerada calculado con los valores del expediente técnico y con el valor experimental. El estudio, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, correlacional y transversal, se realizó durante la construcción de un pabellón de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (Ayacucho), con 100 testigos cilíndricos elaborados con agregados de la cantera Chanchará y ensayados a los 28 días según la ASTM C469. La resistencia promedio fue de $273,91 \text{ kg/cm}^2$ y el módulo experimental promedio, de $249\,883,16 \text{ kg/cm}^2$, $14,96 \%$ superior al valor de la Norma E.060 para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($217\,370,65 \text{ kg/cm}^2$) y coincidente (cociente 1,007) con el que la misma norma predice para la resistencia alcanzada. La regresión potencial $E_c = 39\,917 \cdot f'_c^{0,3271}$ presentó $R^2 = 0,8556$. Con el módulo experimental, el acero requerido de la viga del eje 16 disminuyó $4,6 \%$ (de $24,75$ a $23,61 \text{ cm}^2$), mientras que los límites de acero mínimo y máximo aumentaron $15,0 \%$ y $32,2 \%$; en la losa aligerada las variaciones del acero requerido fueron menores de 2% . El rediseño permitió reducir el refuerzo de la viga de 6 barras de $1''$ ($30,60 \text{ cm}^2$) a 4 barras de $1''$ y 2 de $3/4''$ ($26,08 \text{ cm}^2$), y mantuvo el de la losa.

Palabras clave: concreto armado; módulo de elasticidad; resistencia a compresión; diseño por flexión; expediente técnico.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto armado es uno de los principales materiales de la construcción de edificaciones por su capacidad de resistir esfuerzos de compresión y trabajar de manera conjunta con el acero de refuerzo frente a solicitaciones de tracción y flexión. Además de la resistencia a compresión especificada (f'_c), el diseño estructural requiere conocer las propiedades de deformabilidad del material, entre ellas el módulo de elasticidad (E_c), que relaciona esfuerzo y deformación dentro del rango de comportamiento considerado en el análisis.

El módulo de elasticidad interviene en el cálculo de la rigidez a flexión (EI), de la inercia efectiva de las secciones agrietadas, de la relación modular $n = E_s/E_c$ empleada en la sección transformada y del análisis de desplazamientos laterales de la edificación (Neville y Brooks, 2010; Ottazzi,

Escuela profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Tesista¹ Asesor².

ABSTRACT

The modulus of elasticity (E_c) of concrete governs the stiffness and deformations of structural elements, yet in design it is usually estimated with code expressions. This study aimed to determine the experimental E_c of $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ concrete and to compare the flexural design of a beam and a ribbed slab calculated with the technical-file values and with the experimental value. A quantitative, non-experimental, correlational and cross-sectional design was used during the construction of a building at the National University of San Cristóbal de Huamanga (Ayacucho), with 100 cylindrical specimens made with aggregates from the Chanchará quarry and tested at 28 days according to ASTM C469. Mean compressive strength was 273.91 kg/cm^2 and mean experimental modulus was $249,883.16 \text{ kg/cm}^2$, 14.96% higher than the Standard E.060 value for $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($217,370.65 \text{ kg/cm}^2$) and equal (ratio 1.007) to the value the same standard predicts for the strength actually achieved. The power-law regression $E_c = 39,917 \cdot f'_c^{0.3271}$ gave $R^2 = 0.8556$. With the experimental modulus, the required steel of the axis-16 beam decreased 4.6% (from 24.75 to 23.61 cm^2), while the minimum and maximum steel limits increased 15.0% and 32.2% ; in the ribbed slab the variations in required steel were below 2% . The redesign allowed the beam reinforcement to be reduced from six 1-inch bars (30.60 cm^2) to four 1-inch and two 3/4-inch bars (26.08 cm^2), while the slab reinforcement was unchanged.

Keywords: reinforced concrete; modulus of elasticity; compressive strength; flexural design; technical file.

2011). Por esta razón, una estimación sesgada de E_c se traslada a las deflexiones, a las distorsiones de entrepiso y a la distribución de fuerzas internas en estructuras estáticamente indeterminadas, aun cuando no modifique de manera directa la resistencia de diseño de una sección. En un país de alta sismicidad como el Perú, el control de los desplazamientos laterales es un requisito explícito del diseño sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021), lo que otorga especial relevancia a la rigidez real de los elementos.

El concreto es un material compuesto cuyo módulo depende de las propiedades elásticas de la pasta de cemento endurecida, de los agregados y de la zona de transición entre ambas fases. Dado que los agregados ocupan la mayor parte del volumen de la mezcla, su rigidez, su porosidad y su granulometría condicionan de forma importante el valor final de E_c (Mehta y Monteiro, 2014). Esta dependencia explica

que dos concretos de la misma resistencia puedan presentar módulos distintos y que las expresiones empíricas basadas únicamente en $f'c$ tengan una dispersión apreciable.

Los códigos de diseño responden a esta variabilidad con relaciones empíricas. El ACI 318-19 propone, para concreto de peso normal, $E_c = 4\,700\sqrt{f'c}$ con E_c y $f'c$ en MPa (American Concrete Institute, 2019), mientras que la Norma E.060 adopta $E_c = 15\,000\sqrt{f'c}$ con ambas magnitudes en kg/cm^2 para concretos de peso unitario del orden de $2\,300\text{ kg/m}^3$ (artículo 8.5.2), y su artículo 8.5.3 admite valores distintos de E_c cuando estén respaldados por ensayos de laboratorio (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009). Ambas expresiones son prácticamente equivalentes entre sí y constituyen estimaciones medias, no valores garantizados para un concreto particular.

La literatura reciente muestra que el módulo real puede apartarse de las estimaciones normativas. Sánchez et al. (2020) observaron que el módulo estático de un hormigón elaborado con agregados de una mina de Ecuador no era representado adecuadamente por la ecuación general del ACI; Ortiz et al. (2021) analizaron la incertidumbre de los modelos de predicción para concretos producidos en Colombia y destacaron la influencia de variables relacionadas con los materiales; y Galindo (2022) subrayó la importancia de verificar las propiedades reales del concreto endurecido mediante procedimientos experimentales. En México, la norma NMX-C-128-ONNCCE-2020 establece un método específico para determinar el módulo estático y la relación de Poisson (Secretaría de Economía, 2021). En el Perú, Neira (2023) evaluó concretos de $f'c = 175, 210$ y 280 kg/cm^2 con agregados de la región Lambayeque y reportó, para el de 210 kg/cm^2 , una resistencia de $228,4\text{ kg/cm}^2$ y un módulo de $194\,779,5\text{ kg/cm}^2$, y Haaman y Huamán (2020) evaluaron la evolución del módulo con el tiempo en Arequipa y señalaron variaciones regionales respecto del valor normativo.

En la construcción del nuevo pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (Ayacucho) se empleó concreto de $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ en elementos sometidos a flexión. Sin embargo, el módulo real depende de los agregados, de la dosificación, de las condiciones de curado y de la edad, y puede diferir del adoptado en el expediente técnico. El objetivo general fue determinar el módulo de elasticidad experimental de ese concreto y analizar su incidencia en el diseño por flexión.

Los objetivos se detallan en la sección de metodología. El aporte del trabajo es documentar, con datos de una obra local, la magnitud de la diferencia entre el módulo experimental y el normativo, y precisar en qué parte del diseño por flexión interviene cada parámetro del concreto.

II. METODOLOGÍA

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Evaluar el módulo de elasticidad del concreto de $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ y diseñar por flexión los elementos de la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola (2024).

2.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar el módulo de elasticidad del concreto de $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ empleado en la construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola (2024).
2. Rediseñar los elementos a flexión con el módulo de elasticidad real del concreto empleado en la construcción.
3. Determinar la relación entre los cálculos rediseñados y los del expediente técnico.

2.2. Zona de estudio

El estudio se desarrolló durante la construcción del nuevo pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (Figuras 1 y 2). El análisis estructural se centró en el módulo 6 (administración), una edificación esencial de categoría A2.

2.2.1. Ubicación política y geográfica

Región Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito y localidad de Ayacucho, en el campus de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. El proyecto se ubica a $2\,800\text{ m s. n. m.}$

Figura 1

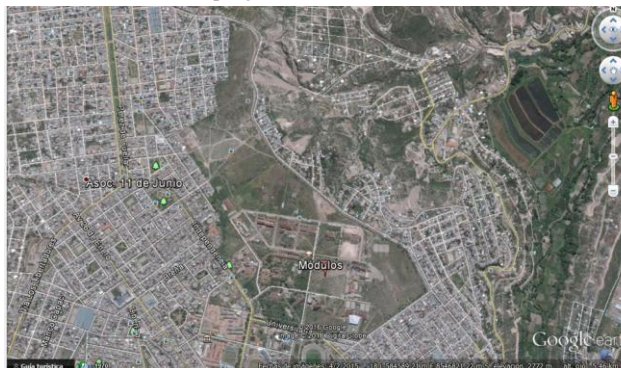
Macro localización del proyecto



Fuente: Imagen satelital, Google Earth (2024)

Figura 2

Micro localización del proyecto



Fuente: Imagen satelital, Google Earth (2024)

2.2.2. Características de la zona

El clima es templado y seco, con temperatura promedio de 17,5 °C y humedad relativa promedio de 56 %; corresponde a un valle de mediana altura, de zona semiárida. La precipitación anual media de la provincia es de 593 mm, distribuida de manera irregular: cerca de 70 % se concentra entre diciembre y marzo y el resto, entre abril y noviembre.

2.2.3. Ubicación de la cantera

Los agregados provienen de la cantera Chanchará, ubicada en el centro poblado Compañía, distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, región Ayacucho.

2.3. Materiales y equipos

2.3.1. Materiales y equipos en campo

- Agregados de la cantera Chanchará
- Cemento y agua
- Mezcladora de concreto
- Cono de Abrams
- Moldes cilíndricos
- Balanza electrónica
- Cámara fotográfica

2.3.2. Materiales y equipos en laboratorio y gabinete

- Prensa hidráulica
- Fichas de laboratorio
- Computadora y calculadora

2.3.3. Programas

- ETABS
- Hoja de cálculo

2.4. Metodología

2.4.1. Enfoque, tipo y diseño de la investigación

La investigación fue de enfoque cuantitativo, porque las probetas de concreto se sometieron a ensayos de laboratorio cuyos resultados se expresaron mediante valores numéricos, tablas estadísticas y análisis de regresión (Hernández, 2010). Fue de tipo descriptivo-correlacional: se describe el módulo de elasticidad del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ obtenido experimentalmente con los agregados de la cantera Chanchará y se analiza su relación con el diseño por flexión de los elementos estructurales, sin establecer relaciones de causa y efecto.

El diseño fue no experimental, correlacional y transversal (Hernández, 2010; Tamayo, 2012): el módulo se determinó con probetas elaboradas con los materiales y procedimientos ya establecidos en la obra, sin manipular deliberadamente la dosificación, los agregados ni otras variables, y los datos se recolectaron en un único periodo. La variable independiente fue el módulo de elasticidad del concreto y la dependiente, el diseño por flexión de los elementos, medido por el acero de refuerzo requerido (cm^2).

2.4.2. Población, muestra y recolección de datos

La población estuvo conformada por 600 probetas de concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, correspondientes a la totalidad de las elaboradas en la construcción de los pabellones. La muestra fue de 100 testigos, según las recomendaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones y del American

Concrete Institute. La técnica fue la de pruebas estandarizadas, con fichas de laboratorio como instrumento. Los datos se obtuvieron de los testigos elaborados en campo durante el proceso constructivo y ensayados posteriormente según la ASTM C469 para obtener E_c ; además, se realizó un análisis documental de artículos, libros y tesis sobre el módulo de elasticidad.

2.4.3. Elaboración de especímenes

El concreto se elaboró con agregados de la cantera Chanchará y con la dosificación en volumen del expediente técnico para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (cemento : agregado fino : agregado grueso = 1 : 1,9 : 2,6, con 25,3 L de agua por bolsa). Se mezcló en mezcladora de obra y se verificó el asentamiento con el cono de Abrams (NTP 339.035), obteniéndose 4 pulgadas. Los especímenes cilíndricos, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, se elaboraron conforme a la NTP 339.034 y a la ASTM C192 a lo largo de tres meses de ejecución de la obra; se desmoldaron a las 24 horas, se identificaron con la fecha y el tipo de elemento vaciado, y se curaron durante 28 días.

2.4.4. Ensayos de laboratorio

A los 28 días se midieron el diámetro y la altura de cada espécimen y se ensayaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de HIDROTERRA S.A.C., con una prensa hidráulica calibrada por profesionales certificados. El módulo de elasticidad estático se determinó según la ASTM C469, que define un módulo cordal: durante la aplicación de la carga se registran la fuerza y la deformación longitudinal, y el módulo se calcula con la expresión (1), donde S_2 es el esfuerzo correspondiente al 40 % de la resistencia última, S_1 el esfuerzo correspondiente a una deformación longitudinal de 50 millonésimas y ϵ_2 la deformación bajo S_2 . La resistencia a compresión se obtuvo como el cociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal.

$$E_c = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0,000050) \quad (1)$$

2.4.5. Expresiones de cálculo

El módulo de referencia se calculó con la expresión (2) de la Norma E.060, con E_c y $f'c$ en kg/cm^2 , y se contrastó con la del ACI 318-19, $E_c = 4700\sqrt{f'c}$ con E_c y $f'c$ en MPa. Para explorar la relación entre ambas magnitudes se ajustó el modelo potencial (3), cuyos parámetros se estiman por regresión lineal de los logaritmos de ambas variables (4); el ajuste se resume mediante el coeficiente de determinación R^2 .

$$E_c = 15\,000 \cdot \sqrt{f'c} \quad (2)$$

$$E_c = a \cdot f'c^b \quad (3)$$

$$\ln E_c = \ln a + b \cdot \ln f'c \quad (4)$$

2.4.6. Rediseño por flexión

Se analizaron la viga M6-102 de $30 \times 70 \text{ cm}$ del eje 16 y una losa aligerada típica del módulo 6, con los datos de la Tabla 1, concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($E_c = 217\,370,65 \text{ kg/cm}^2$ según la Norma E.060) y acero con $f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$ y $E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$. Los momentos últimos provienen del modelo estructural del expediente técnico, elaborado en ETABS.

Tabla 1. Datos de diseño de los elementos analizados.

Elemento	Dimensiones	d (cm)	Momento último
Viga M6-102, eje 16	30 × 70 cm	66	Mu ₋ = 52,67 tn·m
Losa aligerada, módulo 6	bw = 10 cm	22	Mu ₋ = 0,902 tn·m; Mu ₊ = 0,375 tn·m

Las expresiones de flexión empleadas son la profundidad del bloque de compresiones (6), el acero requerido (7), el acero mínimo (8) y el acero máximo (9), donde Mu es el momento último, $\phi = 0,90$, b el ancho, d el peralte efectivo y fy el esfuerzo de fluencia. El acero máximo se toma como 75 % del acero balanceado $A_{s,b}$, evaluado con la profundidad del eje neutro balanceado $c_b = 0,003 \cdot d / (0,003 + 0,0021)$ y con $\beta_1 = 0,85$. En la losa aligerada se consideró además la contribución de las alas de la sección T y, para el acero negativo, la verificación del momento de agrietamiento M_{cr}.

$$a = d - \sqrt{[d^2 - 2M_u / (\phi \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot b)]} \quad (6)$$

$$A_s = M_u / [\phi \cdot f_y \cdot (d - a/2)] \quad (7)$$

$$A_{s,min} = 0,7 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d / f_y \quad (8)$$

$$A_{s,max} = 0,75 \cdot A_{s,b}; A_{s,b} = 0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b / f_y \quad (9)$$

Dado que estas expresiones dependen de f'c y no de Ec de manera explícita, el módulo experimental se trasladó a ellas mediante una resistencia equivalente, obtenida despejando f'c de la expresión (2), como se indica en la expresión (10). El valor f'c,eq se utilizó en lugar de f'c = 210 kg/cm² en las expresiones (6) a (9). La relación modular se calculó con la expresión (11).

$$f'c_{eq} = (E_{c,exp} / 15\,000)^2 \quad (10)$$

$$n = E_s / E_c \quad (11)$$

2.4.7. Análisis de datos

El análisis de los ensayos incluyó estadística descriptiva y el ajuste de regresión mencionado. La comparación entre el expediente técnico y el recálculo se expresó mediante la diferencia absoluta y la variación porcentual respecto del valor del expediente, $\Delta(\%) = 100 \cdot (A_{rec} - A_{exp}) / A_{exp}$. Los valores se presentan en kg/cm², unidad empleada en la Norma E.060 y en el expediente técnico, junto con su equivalencia en el Sistema Internacional (1 kg/cm² = 0,0980665 MPa) para facilitar la comparación con la literatura.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

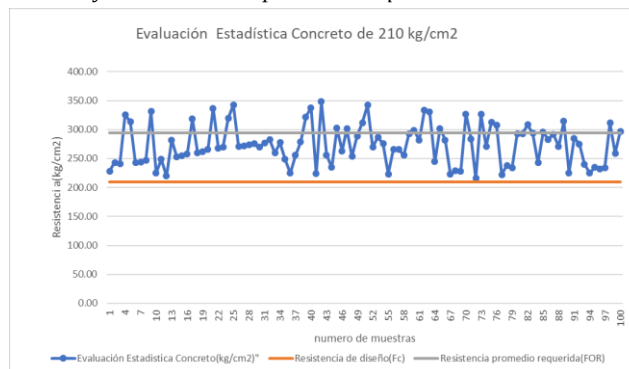
3.1. Resistencia a compresión y módulo de elasticidad

Los 100 testigos ensayados a los 28 días dieron una resistencia a compresión promedio de 273,91 kg/cm² y un módulo de elasticidad experimental promedio de 249 883,16 kg/cm², frente a 217 370,65 kg/cm² que resulta de aplicar la expresión de la Norma E.060 con f'c = 210 kg/cm² (Tabla 2). Los valores individuales de resistencia oscilaron entre aproximadamente 215 y 350 kg/cm², todos por encima de la resistencia especificada, lo que indica una dispersión amplia entre especímenes.

Escuela profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Tesista¹ Asesor².

Figura 3

Resistencia a compresión de los 100 testigos frente a la resistencia de diseño y a la resistencia promedio requerida



Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 muestra la resistencia de cada testigo frente a la resistencia de diseño (210 kg/cm²) y a la resistencia promedio requerida (294 kg/cm²): todos los valores superan la primera, mientras que una parte importante queda por debajo de la segunda.

Tabla 2. Parámetros del concreto: valores especificados, normativos y experimentales.

Parámetro	kg/cm ²	MPa
f'c especificada	210	20,6
f'c requerida (f'cr)	294	28,8
f'c promedio experimental	273,91	26,9
f'c equivalente (Ec exp.)	277,52	27,2
Ec, E.060 con f'c = 210	217 370,65	21 317
Ec, E.060 con f'c promedio	248 253	24 345
Ec, ACI 318-19 con f'c promedio	248 394	24 359
Ec, regresión con f'c promedio	250 322	24 548
Ec experimental promedio	249 883,16	24 505

Como se aprecia en la Tabla 2, el concreto ensayado superó en 63,91 kg/cm² (30,4 %) la resistencia especificada, y su módulo experimental excedió en 32 512,51 kg/cm² (14,96 %) al valor que arroja la Norma E.060 para f'c = 210 kg/cm². Sin embargo, el promedio quedó 6,8 % por debajo de la resistencia promedio requerida para el diseño de mezcla (f'cr = 294 kg/cm²), y la mayor parte de los valores individuales se ubicó por debajo de ese umbral: el concreto superó con holgura la resistencia especificada, pero no alcanzó el nivel con que debía dosificarse.

Figura 4

Testigo de concreto n.º 4 antes y después de la rotura en la prensa hidráulica



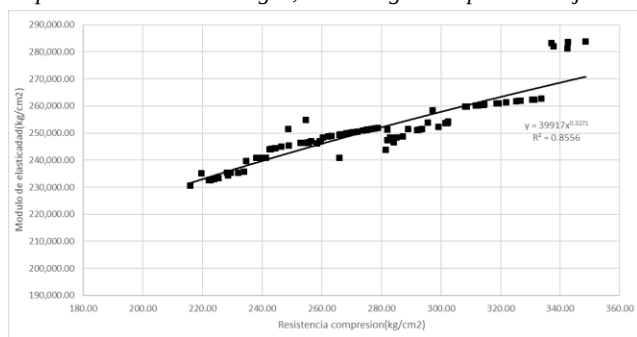
Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 muestra uno de los testigos (n.º 4) antes y después del ensayo de compresión en la prensa hidráulica del laboratorio.

Se ajustó una regresión potencial entre el módulo y la resistencia de los 100 testigos, $E_c = 39\,917 \cdot f'_c{}^{0,3271}$, con $R^2 = 0,8556$, que indica que la resistencia explica la mayor parte de la variabilidad del módulo para los agregados de la cantera Chanchará.

Figura 5

Relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión de los 100 testigos, con la regresión potencial ajustada



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 presenta los pares (f'_c , E_c) de los 100 testigos y la regresión potencial ajustada, $E_c = 39\,917 \cdot f'_c{}^{0,3271}$ ($R^2 = 0,8556$).

Tabla 3. Indicadores comparativos derivados de los valores reportados.

Indicador	Valor
E_c experimental / E_c E.060 ($f'_c = 210$)	1,150
f'_c promedio / f'_c especificada	1,304
f'_c promedio / f'_c requerida	0,932
E_c experimental / E_c E.060 (f'_c promedio)	1,007
E_c experimental / E_c ACI (f'_c promedio)	1,006
E_c experimental / E_c regresión (f'_c promedio)	0,998
f'_c equivalente / f'_c promedio	1,013
$n = E_s/E_c$ con E_c de E.060 ($f'_c = 210$)	9,20
$n = E_s/E_c$ con E_c experimental	8,00

El cociente entre el módulo experimental y el calculado con la Norma E.060 evaluada en la resistencia promedio es 1,007; es decir, el módulo medido es prácticamente el que predice la expresión normativa cuando se emplea la resistencia efectivamente alcanzada. En consecuencia, la diferencia de 15 % respecto del valor calculado con $f'_c = 210$ kg/cm² se explica casi por completo por la mayor resistencia del concreto y no por una desviación de la relación entre E_c y f'_c de la norma para estos materiales. La expresión del ACI 318-19 evaluada en la resistencia promedio (26,9 MPa) arroja 248 394 kg/cm², con un cociente de 1,006 respecto del valor experimental.

3.2. Diseño por flexión de la viga

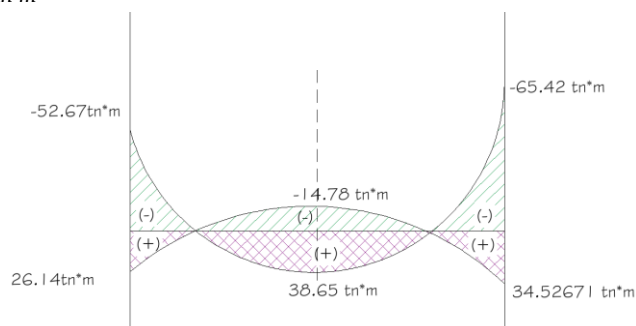
Para la viga de 30 × 70 cm del eje 16, con $M_u = 52,67$ tn·m y $d = 66$ cm, el cálculo con los parámetros del expediente dio un acero requerido de 24,75 cm², comprendido entre el mínimo (4,78 cm²) y el máximo (31,55 cm²). Con la resistencia equivalente derivada del módulo experimental (277,52 kg/cm²), la profundidad del bloque de compresiones se redujo de 19,41 a 14,01 cm y el acero requerido, a 23,61 cm² (Tabla 4).

Tabla 4. Acero de refuerzo en la viga de 30 × 70 cm del eje 16 (Var. = variación del recálculo respecto del expediente).

Parámetro	Expediente	Recálculo	Dif.	Var. (%)
Bloque a (cm)	19,41	14,01	5,40	-27,8
Acero requerido (cm ²)	24,75	23,61	1,14	-4,6
Acero mínimo (cm ²)	4,78	5,497	0,717	+15,0
Acero balanceado (cm ²)	42,07	55,60	13,53	+32,2
Acero máximo (cm ²)	31,55	41,70	10,15	+32,2

Figura 6

Diagrama de momentos flectores de la viga M6-102 del eje 16, en tn·m

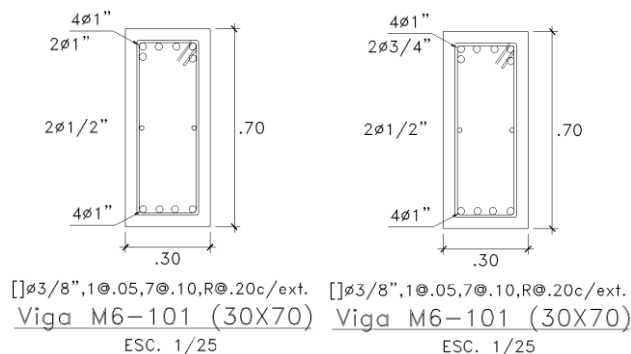


Fuente: Elaboración propia, a partir del expediente técnico

La Figura 6 presenta el diagrama de momentos de la viga tomado del expediente técnico, del que se obtiene el momento negativo de diseño $M_u = 52,67$ tn·m.

Figura 7

Sección de corte de la viga: a la izquierda, la del expediente técnico; a la derecha, la obtenida con los cálculos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se comparan la sección del expediente técnico, con 6 barras de 1", y la del rediseño, con 4 barras de 1" y 2 de 3/4" (26,08 cm²).

El acero requerido disminuyó 4,6 %, mientras que los límites de acero mínimo y máximo aumentaron 15,0 % y 32,2 %. Estos cambios no son fortuitos: el acero máximo es proporcional a f'_c y el mínimo, a $\sqrt{f'_c}$, de modo que, al pasar de 210 a 277,52 kg/cm², se esperan incrementos de 32,2 % ($277,52/210 = 1,322$) y de 15,0 % ($\sqrt{1,322} = 1,150$), que coinciden con los obtenidos. La holgura entre el acero requerido y el máximo permisible aumenta de 6,80 a 18,09 cm². El refuerzo del expediente, 6 barras de 1" (30,60 cm²), equivale a 97 % del máximo del expediente. En el rediseño se planteó, con fines de reducción de costos, una combinación de 4 barras de 1" y 2 de 3/4", con 26,08 cm², que supera el acero requerido recalculado (23,61 cm²) y equivale a 63 % del máximo recalculado; el acero colocado se reduce 4,52 cm² (14,8 %) respecto del expediente.

Como ejemplo del mecanismo, con $f'_c = 210$ kg/cm² la expresión (6) da $a = 19,41$ cm, y con $f'_c,eq = 277,52$ kg/cm² da 14,01 cm, una reducción de 27,8 % que explica la disminución del acero requerido en la expresión (7). Expresados como cuantías sobre el área $b \cdot d = 1\,980$ cm², los resultados permiten apreciar la reserva de ductilidad de la sección (Tabla 5): la cuantía provista queda próxima al límite máximo del expediente y se aleja de él en el recálculo.

Tabla 5. Cuantías de acero de la viga ($b \cdot d = 30 \times 66 = 1\,980$ cm²).

Parámetro	Expediente	Recálculo
Cuantía requerida (%)	1,25	1,19
Cuantía mínima (%)	0,241	0,278
Cuantía máxima (%)	1,593	2,106
Acero provisto (cm ²)	30,60 (6ø1")	26,08 (4ø1" + 2ø3/4")
Cuantía provista (%)	1,545	1,317
Acero provisto / requerido	1,24	1,10
Acero provisto / máximo (%)	97	63

3.3. Diseño por flexión de la losa aligerada

En la losa aligerada, con $Mu^- = 0,902$ tn·m y $Mu^+ = 0,375$ tn·m, el acero requerido pasó de 1,16 a 1,14 cm² para el

Escuela profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Tesista¹ Asesor².

momento negativo y de 0,462 a 0,46 cm² para el positivo (Tabla 6), variaciones de -1,7 % y -0,4 %. Los límites máximos aumentaron cerca de 32 % en ambos casos, igual que en la viga, mientras que los mínimos cambiaron en proporciones distintas porque, para el acero negativo, el mínimo se obtiene a partir del momento de agrietamiento.

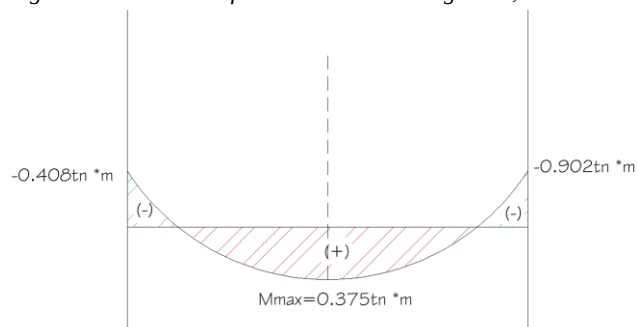
Tabla 6. Acero de refuerzo en la losa aligerada.

Solic.	Parámetro	Expediente e	Recálculo	Var. (%)
Mu-	Acero requerido (cm ²)	1,16	1,14	-1,7
Mu-	Acero mínimo (cm ²)	1,20	1,13	-5,8
Mu-	Acero máximo (cm ²)	3,50	4,63	+32,3
Mu+	Acero requerido (cm ²)	0,462	0,46	-0,4
Mu+	Acero mínimo (cm ²)	0,531	0,61	+14,8
Mu+	Acero máximo (cm ²)	8,29	10,95	+32,1

Cambios del acero requerido de esta magnitud difícilmente se traducen en una modificación de las barras colocadas, pues el refuerzo se dispone con diámetros discretos. Además, el acero requerido es del orden o inferior al mínimo (en el expediente, 1,16 cm² frente a un mínimo de 1,20 cm² para Mu-, y 0,462 frente a 0,531 cm² para Mu+), por lo que la selección del refuerzo, una barra de 1/2" (1,29 cm²), queda gobernada por los límites más que por el acero requerido, y es la misma en ambos cálculos.

Figura 8

Diagrama de momentos flectores de la losa aligerada, en tn·m



Fuente: Elaboración propia, a partir del expediente técnico

La Figura 8 muestra el diagrama de momentos de la losa aligerada, con un momento positivo máximo de 0,375 tn·m y un momento negativo de 0,902 tn·m.

Los límites máximos aumentan cerca de 32 % en los tres casos, lo que confirma que dependen de la resistencia equivalente, mientras que el acero requerido varía menos de 5 %. Una lectura basada solo en el acero requerido subestima, por tanto, la magnitud del cambio en los criterios de verificación. El efecto resulta más perceptible en la viga, de mayor demanda de momento, que en la losa, cuyo acero está gobernado por los mínimos.

3.4. Alcance del efecto del módulo de elasticidad

Para interpretar los resultados conviene distinguir los estados límite. En el estado límite de resistencia a flexión, el acero requerido depende del momento último, de las dimensiones de la sección, del esfuerzo de fluencia y de $f'c$ a través de la profundidad del bloque de compresiones (expresiones 6 y 7); el módulo no aparece de manera explícita. Los cambios observados se deben a que el módulo experimental se tradujo en una resistencia equivalente de 277,52 kg/cm² (expresión 10), valor muy próximo a la resistencia promedio medida (273,91 kg/cm²; cociente 1,013). El rediseño equivale, en la práctica, a diseñar con la resistencia efectivamente alcanzada, y no a evaluar un efecto independiente de la rigidez.

La influencia propia de E_c se manifiesta en el estado límite de servicio. Para una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida w y luz L , la flecha instantánea es la de la expresión (12), donde I_e es la inercia efectiva, que depende de $f'c$ a través del módulo de rotura, $fr = 2\sqrt{f'c}$ con $f'c$ en kg/cm², y de E_c a través de la relación modular. Un módulo 14,96 % mayor implica, con los demás factores constantes, deflexiones elásticas del orden de 13 % menores, aunque el efecto exacto debe evaluarse con el modelo completo del elemento. La Tabla 7 sintetiza qué parámetro del concreto interviene en cada verificación.

$$\delta = 5 \cdot w \cdot L^4 / (384 \cdot E_c \cdot I_e) \quad (12)$$

Tabla 7. Parámetros del concreto que intervienen en cada verificación de diseño (síntesis conceptual).

Verificación de diseño	Parámetro del concreto
Resistencia a flexión (ϕM_n)	$f'c$
Acero mínimo y máximo	$f'c$ (y f_y)
Deflexión inmediata	E_c y $f'c$ (vía I_e)
Relación modular n	E_c
Periodo y derivas	E_c

El módulo también interviene en la rigidez lateral del sistema estructural: un módulo mayor reduce los periodos de vibración y los desplazamientos calculados, con efectos sobre la distribución de la fuerza sísmica y la verificación de derivas. Por tanto, el efecto de adoptar un módulo experimental no debería evaluarse únicamente en términos de acero por flexión, sino en la comprobación integral de servicio del elemento y del edificio.

3.5. Sobrerresistencia y control de calidad

La resistencia promedio de 273,91 kg/cm² excede en 30 % a la especificada, pero es 6,8 % inferior a la requerida para el diseño de mezcla (294 kg/cm²). Ambos hechos importan: el concreto cumple con holgura el requisito estructural de $f'c = 210$ kg/cm², pero la dispersión de los resultados y la proporción de valores por debajo del promedio requerido sugieren una producción menos controlada de lo previsto en el diseño de mezcla. Resulta recomendable contrastar la resistencia promedio con la desviación estándar propia de la obra, de modo que pueda distinguirse una sobrerresistencia deliberada de una variabilidad excesiva del proceso.

Desde el punto de vista del diseño, trabajar con la resistencia especificada es una práctica prudente para el estado límite de resistencia, pues el concreto colocado la supera. Para el cálculo de rigidez, en cambio, la misma práctica conduce a un módulo menor que el real: en este caso, la subestimación fue de 13 % (217 371 frente a 249 883 kg/cm²). Esa subestimación es favorable para las deflexiones, pero no necesariamente para la distribución de fuerzas en estructuras hiperestáticas ni para la estimación de periodos y derivas. Distinguir ambos usos del parámetro, resistencia y rigidez, es una de las conclusiones metodológicas del análisis.

3.6. Comparación con estudios previos

Neira (2023) reportó, para un concreto de $f'c = 210$ kg/cm² con agregados de Lambayeque, una resistencia de 228,4 kg/cm² y un módulo de 194 779,5 kg/cm². La expresión de la Norma E.060 evaluada en esa resistencia da 226 695 kg/cm², de modo que el módulo medido por esa autora fue 14 % menor que el normativo (cociente 0,86), mientras que en el presente estudio fue prácticamente igual (1,007). Ambos casos ilustran que la desviación respecto de la norma depende de los materiales: con los agregados de la cantera Chanchará, la forma funcional basada en $\sqrt{f'c}$ reproduce el módulo con una diferencia inferior a 1 % cuando se emplea la resistencia efectiva. Este resultado es compatible con lo señalado por Sánchez et al. (2020) y Ortiz et al. (2021) sobre la influencia de los materiales, y respalda el artículo 8.5.3 de la Norma E.060, que admite valores de E_c sustentados en ensayos (Tabla 8; E_c y $f'c$ en kg/cm²).

Tabla 8. Comparación del módulo medido con el estimado por la Norma E.060 en la resistencia medida.

Estudio	$f'c$ medida	E_c medido	E_c E.060 ($f'c$ medida)	Cociente
Neira (2023)	228,4	194 779,5	226 695	0,86
Este estudio	273,91	249 883,16	248 253	1,007

Con todo, la concordancia observada en un único promedio no equivale a una validación general. Una evaluación completa requeriría examinar la dispersión de los pares ($f'c$, E_c) por espécimen, los residuos de la regresión y la sensibilidad del ajuste al rango de resistencias.

3.7. Implicancias para la práctica de obra

Los resultados sugieren un procedimiento práctico para incorporar el módulo experimental en el diseño sin confundir resistencia y rigidez. Primero, determinar el módulo y la resistencia efectivos con ensayos normalizados sobre el concreto realmente colocado, informando la dispersión de ambos. Segundo, emplear el módulo experimental en el modelo de análisis estructural (rigidez de los elementos, periodos y derivas), donde E_c interviene de forma explícita. Tercero, mantener la resistencia especificada en las ecuaciones de resistencia, salvo que la resistencia efectiva esté verificada y sea aceptable adoptarla. Cuarto, documentar en el expediente el valor de E_c utilizado y su sustento, conforme al artículo 8.5.3 de la Norma E.060.

Este procedimiento evita un riesgo del rediseño realizado: trasladar el módulo a las ecuaciones de resistencia mediante

una resistencia equivalente aumenta los límites de acero máximo y, con ello, la apariencia de reserva de ductilidad, aunque la resistencia de los especímenes individuales es variable y una parte de ellos queda por debajo del promedio.

3.8. Limitaciones del estudio

Se analizó una sola obra, una sola cantera y ensayos a los 28 días, por lo que los valores no son transferibles sin reservas a otros concretos y no se evaluó la evolución del módulo con la edad. La comparación estructural se limitó a una viga y una losa aligerada, solo a flexión, y la regresión potencial es válida únicamente en el rango de resistencias ensayado.

IV. CONCLUSIONES

1. Para los 100 testigos ensayados, la resistencia a compresión promedio fue de 273,91 kg/cm² y el módulo de elasticidad experimental promedio, de 249 883,16 kg/cm², 14,96 % superior al valor de 217 370,65 kg/cm² que da la Norma E.060 para $f'_c = 210$ kg/cm². La regresión potencial $E_c = 39\,917 \cdot f'_c^{0,3271}$ presentó $R^2 = 0,8556$.
2. El módulo experimental es consistente (cociente 1,007) con el valor que la Norma E.060 predice para la resistencia promedio alcanzada, por lo que la diferencia respecto de $f'_c = 210$ kg/cm² se atribuye principalmente a la mayor resistencia del concreto.
3. En la viga de 30 × 70 cm del eje 16, el acero requerido pasó de 24,75 a 23,61 cm² (-4,6 %), y los límites de acero mínimo y máximo aumentaron 15,0 % y 32,2 %. En la losa aligerada, la variación fue de -1,7 % (momento negativo) y -0,4 % (positivo).
4. Las variaciones se deben a que el módulo experimental se tradujo en una resistencia equivalente de 277,52 kg/cm²; E_c no interviene de manera explícita en las ecuaciones de flexión, y su efecto propio corresponde al servicio y a la rigidez lateral, no verificados aquí.
5. Con el módulo experimental, el refuerzo de la viga puede pasar de 6 barras de 1" (30,60 cm²) a 4 barras de 1" y 2 de 3/4" (26,08 cm²), una reducción de 14,8 % superior al acero requerido (23,61 cm²).

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda determinar el módulo de elasticidad experimental del concreto, especialmente con agregados de canteras locales, y registrar la resistencia efectiva alcanzada cuando la rigidez sea relevante.

Se recomienda verificar deflexiones y desplazamientos laterales antes de aplicar el rediseño en obra.

Se sugiere determinar el módulo con agregados de distintas canteras y tipos de cemento, y extender el estudio a concretos de $f'_c = 175$ y 280 kg/cm².

REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2019). *ACI 318-19: Building code requirements for structural concrete and commentary*. American Concrete Institute.
- ASTM International. (s. f.). *ASTM C192/C192M: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*.
- ASTM International. (s. f.). *ASTM C469/C469M: Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression*.
- Galindo Reascos, K. A. (2022). *Análisis comparativo y correlación de los ensayos: esclerómetro, ultrasonido y extracción de núcleos, para determinar la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del hormigón endurecido*. Escuela Politécnica Nacional.
- Haaman Cuellar, C. A., & Huamán Apaza, I. J. (2020). *Evaluación y comparación del módulo de elasticidad del concreto (E_c) en el tiempo en la ciudad de Arequipa*.
- Hernández, S. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Instituto Nacional de Calidad. (2013). *NTP 339.034: Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060: Concreto armado*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*. Macro.
- Neira Peña, Y. S. (2023). *Estudio del módulo de elasticidad del concreto en la Región Lambayeque*. Universidad Señor de Sipán.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Pearson Education.
- Ortiz, A. R., Carrillo, J., Toro, A. T., & Ibarguén, S. L. (2021). *Evaluación de la incertidumbre asociada al módulo de elasticidad del concreto producido en Colombia*. Reporte CEER 001-2021.
- Ottazzi, G. (2011). *Diseño en concreto armado*. EDIGRAFASA.
- Sánchez, D. M., Chiliquinga, J., Flores, E., & Orosco, M. (2020). Módulo estático de elasticidad del hormigón fabricado con agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador. *Revista Politécnica*, 46(1), 29–38. <https://doi.org/10.33333/rp.vol46n1.03>
- Secretaría de Economía. (2021). *NMX-C-128-ONNCCE-2020: Industria de la construcción – Concreto sometido a compresión – Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson – Método de ensayo*. Diario Oficial de la Federación.
- Tamayo, M. T. (2012). *La investigación científica*. Limusa.