

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y
CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación del Empleo de Concreto Compactado
con Rodillo en los Pavimentos: Impacto
Técnico y Económico**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
CIRO LUIS TOVAR POMA

DIRIGIDO POR:
ING. EDMUNDO CANCHARI GUTIÉRREZ

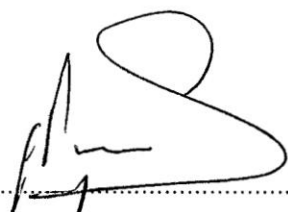
AYACUCHO - PERÚ

2014

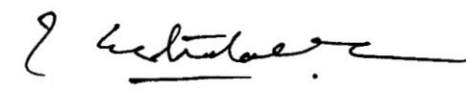
**“EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON
RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓ-
MICO”**

RECOMENDADO : 30 de Octubre del 2014


APROBADO : 21 de Noviembre del 2014



MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)




Ing. José E. ESTRADA CÁRDENAS
(Miembro)



Ing. Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA
(Miembro)

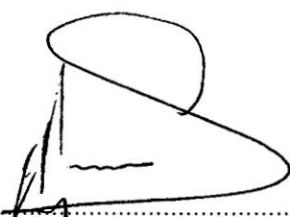


Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ
(Miembro)

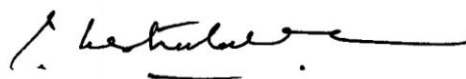


Ing. Floro N. YANCAI GUERRA
(Secretario Docente)

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 21 de noviembre del 2014, en la Sustentación de Tesis Profesional, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil señor **Ciro Luis TOVAR POMA**, con el Trabajo Titulado “**EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO**”, fue calificado con la nota de **DIECISÉIS (16)** por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.



.....
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)



.....
Ing. José E. ESTRADA CÁRDENAS
(Miembro)



.....
Ing. Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA
(Miembro)



.....
Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ
(Miembro)



.....
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

Presentación

Esta tesis que lleva por título *Evaluación del Empleo de Concreto Compactado con Rodillo en los Pavimentos: Impacto Técnico y Económico*, es presentado como parte de los requisitos para optar el título profesional de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y no ha sido presentado previamente para la obtención de otro grado o título en esta universidad u otras. Esperando que este aporte sirva a los profesionales y estudiantes inmersos en este campo.

TOVAR POMA, CIRO LUIS

chirotovar@gmail.com

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, OCTUBRE DE 2014.

Dedicatoria

*A mis padres Aurelio Sergio y Julia y a mis
hermanos.*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela de Formación Profesional Ingeniería Civil por haberme albergado en sus aulas durante estos años de formación.

A mis padres, Aurelio Sergio y Julia, por su dedicación y apoyo incondicional durante mi formación. A mis hermanos, por su apoyo y aliento en cada logro obtenido.

A los ingenieros Edmundo Canchari y Ernesto Estrada, maestros y amigos, por su orientación en el desarrollo de esta tesis.

Al personal técnico y de ingeniería del laboratorio INGEOTECON, en especial al ingeniero Víctor Portal, por facilitarme sus instalaciones y por sus consejos.

Al personal técnico y de ingeniería del proyecto Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho; por su colaboración e información brindada.

A Karla, por su aliento constante en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a todos mis profesores, amigos y compañeros que colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

Resumen

En la presente investigación se ha desarrollado el estudio del concreto compactado con rodillo en los pavimentos, para ello se ha realizado el diseño de mezcla CCR empleando la filosofía de compactación de suelos (Proctor Modificado Método C), con los mismos materiales que se viene usando en el Proyecto Pistas y Veredas en el sector Villa San Cristóbal - Jesús Nazareno - Ayacucho, el cual se toma como proyecto de aplicación.

Para el diseño de mezcla CCR se determinó la granulometría del agregado grueso y fino, en base a estos se estimó la combinación más favorable a usar, luego se determinó el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, variando los contenidos de cemento (12 %, 14 % y 16 %), finalmente se confecciona los especímenes cilindros que serán ensayados a la resistencia a compresión.

De los resultados obtenidos con el concreto compactado con rodillo, se elige la proporción de mezcla que cumpla con la resistencia de diseño del pavimento de la aplicación práctica ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$), luego se procede a calcular los costos unitarios de las partidas para el pavimento CCR, que al ser evaluadas y comparadas frente a la alternativa de concreto convencional, se obtiene un ahorro de 10.7 %, considerando que en el tratamiento de juntas del CCR, se propuso el empleo de sellantes elásticos de poliuretano, que tienen un mejor comportamiento y resultan más costosas que las juntas asfálticas del proyecto en aplicación.

Índice general

Portada	I
Acta de Sustentación	
Presentación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Índice General	V
Índice de Cuadros	X
Índice de Figuras	XIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Problema Principal	4
1.2.2. Problemas Secundarios	4
1.3. Justificación e Importancia	4
1.4. Objetivos de la Tesis	5
1.4.1. Objetivos Generales	5

ÍNDICE GENERAL

1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Organización del Estudio	6
2. Estado del Arte de los Pavimentos	9
2.1. Descripción y Función de los Pavimentos	10
2.2. Clasificación de los Pavimentos	10
2.2.1. Pavimentos Flexibles	11
2.2.2. Pavimentos Rígidos	13
2.2.3. Pavimentos Semirígidos	15
2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos	15
2.3.1. Tráfico	16
2.3.2. Estudio de los Suelos	21
2.3.3. Clima	26
2.3.4. Materiales	27
2.4. Enfoque de Diseño de Pavimentos	33
3. Concreto Compactado con Rodillo en Pavimentos	35
3.1. Consideraciones Generales	35
3.2. Materiales	36
3.2.1. Agregados	36
3.2.2. Material Cementante	37
3.2.3. Agua	38
3.2.4. Aditivos	38
3.3. Diseño de Mezclas	38
3.3.1. Diseño del CCR con Ensayos de Consistencia del Concreto . .	39
3.3.2. Diseño de CCR con Método de Compactación de Suelos . . .	40
3.4. Propiedades	41
3.4.1. Resistencia a la Compresión	42
3.4.2. Resistencia a la Flexión	42
3.4.3. Resistencia a la Fatiga	43

ÍNDICE GENERAL

3.4.4. Propiedades Elásticas	44
3.4.5. Esfuerzos de Adherencias	44
3.4.6. Durabilidad	44
3.4.7. Retracción	45
3.5. Diseño del Espesor del Pavimento	45
3.5.1. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento	47
3.6. Construcción del Pavimento con CCR	55
3.6.1. Preparación de la Subrasante y Subbase	56
3.6.2. Mezclado	56
3.6.3. Transporte	57
3.6.4. Colocación	57
3.6.5. Compactación	59
3.6.6. Juntas	61
3.6.7. Curado y Protección	64
3.6.8. Apertura al Tránsito	64
3.6.9. Textura Superficial	65
3.6.10. Control de Calidad	65
4. Elaboración del Diseño de Mezcla CCR Para el Proyecto en Eva-	
luación	66
4.1. Generalidades	66
4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR	67
4.2.1. Selección y Análisis Granulométrico de los Agregados	67
4.2.2. Determinación Granulométrica Óptima	71
4.2.3. Determinación del Contenido de Humedad	75
4.2.4. Determinación de la Proporción de los Componentes de la Mezcla	78
4.2.5. Determinación de la Cantidad de Golpes de Compactación	81

ÍNDICE GENERAL

4.2.6. Preparación de Especímenes Para Ensayos de Resistencia a Compresión	82
4.2.7. Selección de Proporción de Mezcla	83
5. Aplicación Práctica a un Proyecto Local y Propuesta con CCR	84
5.1. Generalidades	84
5.2. Proyecto Villa San Cristóbal	85
5.2.1. Ubicación	85
5.2.2. Características del Proyecto	86
5.2.3. Diseño Estructural del Pavimento del Proyecto	86
5.2.4. Diseño de Mezcla del Proyecto en Aplicación	91
5.2.5. Costos del Pavimento con Concreto Convencional	93
5.3. Propuesta de Aplicación del CCR	95
5.3.1. Diseño Estructural del Pavimento con CCR	95
5.3.2. Diseño de Mezcla CCR para la Aplicación Práctica	96
5.3.3. Análisis de Costos del Pavimento con CCR	97
6. Análisis y Discusión de Resultados	104
6.1. Evaluación del Diseño de Mezcla	104
6.1.1. Agregados	104
6.1.2. Contenido de Humedad	106
6.1.3. Resistencia a la Compresión y Flexión	107
6.1.4. Proporción de Mezcla	108
6.2. Evaluación de los Costos Directos	109
7. Conclusiones y Recomendaciones	111
7.1. Conclusiones	111
7.2. Recomendaciones	113
7.3. Temas Afines de Investigación	114
Referencias	116

A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN	119
B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA CCR	137
C. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CCR	144
D. RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO	146
E. COTIZACIÓN DE MANO DE OBRA, MATERIALES Y EQUIPOS	152
F. PANEL FOTOGRÁFICO	159
F.1. Análisis Granulométrico de los Agregados	160
F.2. Determinación del Contenido de Humedad	162
F.3. Preparación de Especímenes Cilíndricos de concreto	163
F.4. Curado de los Especímenes Cilíndricos de concreto	166
F.5. Ensayo de Resistencia a la Compresión	167

Índice de cuadros

2.1. Factores de Distribución Direccional y de Carril	17
2.2. Relaciones para factores equivalentes de carga para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirígidos	19
2.3. Relaciones para factores equivalentes de carga para Pavimentos Rígidos	19
2.4. Clasificación de suelos según tamaño de partículas	22
2.5. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad	23
2.6. Clasificación de suelos según Índice de Grupo	24
2.7. Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS	25
2.8. Categorías de subrasante	25
2.9. Granulometría del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico	29
2.10. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico .	29
2.11. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico	31
2.12. Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua	32
3.1. Recomendaciones Granulométricas	37
3.2. Confiabilidad recomendada por AASHTO.	49
3.3. Valores de Z_r en función de la confiabilidad.	49
3.4. Confiabilidad y factores de seguridad recomendadas.	50
3.5. Calificación de la serviciabilidad.	51
3.6. Índice de serviciabilidad final	51
3.7. Valores de coeficiente de transmisión de cargas J	52
3.8. Valores recomendados del coeficiente de drenaje C_d	55

ÍNDICE DE CUADROS

3.9. Periodo de diseño	55
3.10. Número de pasadas con los vibradores accionados y espesores máximos para diferentes equipos	60
4.1. Propiedades físicas del agregado usado en la investigación	68
4.2. Granulometría del Agregado Grueso	69
4.3. Granulometría del Agregado Fino	70
4.4. Datos granulométricos de los agregados	72
4.5. Distribución granulométrica obtenida con el módulo de fineza	73
4.6. Resumen de relaciones granulométricas del agregado fino y grueso	74
4.7. Resultados de los ensayos Proctor Modificado (ASTM D 1557)	77
4.8. Factores y Cantidades de materiales por m^3 de mezcla CCR	79
4.9. Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales secos.	80
4.10. Dosificación en peso seco.	80
4.11. Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales húmedos.	80
4.12. Dosificación en peso húmedo.	80
4.13. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión	83
5.1. Clasificación de material de la subrasante	87
5.2. Ensayo Proctor Modificado	87
5.3. Ensayo de CBR de laboratorio	87
5.4. Características del CBR	88
5.5. Reemplazo de subrasante con material clasificado	88
5.6. Conteo vehicular por tipo de vehículo	89
5.7. Resumen del calculo del ESAL de diseño	90
5.8. Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos	92
5.9. Dosificación en peso seco.	92

ÍNDICE DE CUADROS

5.10. Dosificación en volumen corregido por humedad.	92
5.11. Análisis de costo unitario de Encofrado y Desencofrado	93
5.12. Análisis de costo unitario de Concreto f'c 210 kg/cm ²	94
5.13. Análisis de costo unitario de Curado de Concreto	94
5.14. Análisis de costo unitario de Juntas Asfálticas	95
5.15. Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de mate- riales secos.	96
5.16. Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de mate- riales corregidos por humedad.	96
5.17. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión	97
5.18. Análisis de costo unitario del concreto compactado con rodillo	100
5.19. Análisis de costo unitario del pavimento de concreto compactado con rodillo	101
5.20. Análisis de costo unitario de curado de concreto compactado con rodillo	102
5.21. Análisis de costo unitario de juntas de construcción y contracción en pavimentos de concreto compactado con rodillo	103
6.1. Resistencias alcanzadas con el concreto compactado con rodillo. . . .	107
6.2. Resumen de proporción del diseño de mezcla por tipo de concreto de materiales secos.	108
6.3. Resumen de costos unitarios directos de las partidas del pavimento. .	109

Índice de figuras

2.1. Sección típica de un pavimento flexible	11
2.2. Sección típica de un pavimento rígido	13
2.3. Bombeo de un pavimento rígido	15
2.4. Configuración de Ejes. (<i>Fuente:</i> MTC, 2013, p.78)[19]	16
2.5. Cálculo del Factor Camión	20
3.1. Consistómetro Vebe	40
3.2. Curva típica del ensayo de compactación, para diferentes relaciones entre agregados	41
3.3. Ley de Abrams	42
3.4. Comportamiento del concreto compactado con rodillo ante la fatiga. (<i>Fuente:</i> Londoño, 1988)[15]	43
3.5. Influencia de la relación a/c y el contenido de agregado en la contrac- ción. (<i>Fuente:</i> Londoño, 1988)[15]	45
3.6. Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante (AASHTO-93)	54
3.7. Construcción de juntas frescas. (<i>Fuente:</i> Londoño, 1988)[15]	62
3.8. Construcción de juntas frías. (<i>Fuente:</i> Londoño (1988)[15], ACI 325.10R (2001)[2])	63
4.1. Curva Granulométrica del Agregado Grueso	69
4.2. Curva Granulométrica del Agregado Fino	70
4.3. Curvas granulométricas de relaciones agregado fino y grueso	74

ÍNDICE DE FIGURAS

4.4. Curvas de los ensayos Proctor Modificado para las relaciones de agregados, humedad y porcentajes de cemento.	77
5.1. Imagen satelital de la ubicación del proyecto	85
5.2. Pulverizador manual (tipo agrícola)	102
5.3. Junta con material de respaldo y sellante elástico de poliuretano. . . .	103
6.1. Curva de la distribución granulométrica de los agregados.	105
6.2. Curva de la distribución granulométrica óptima de los agregados. . .	105
6.3. Curva del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca .	106
6.4. Curva contenido de cemento versus resistencia a la compresión	108
F.1. Mezclado y cuarteo manual del agregado grueso	160
F.2. Mezclado y cuarteo manual del agregado fino	160
F.3. Resultado del tamizado del agregado fino	161
F.4. Resultado del tamizado del agregado grueso	161
F.5. Muestras con 0.75AF + 0.25AG + un porcentaje de contenido de cemento para el ensayo Proctor Modificado	162
F.6. Muestra con cierto contenido de agua para el ensayo Proctor Modificado	162
F.7. Compactación de las mezclas para la estimación del OCH y MDS . .	163
F.8. Mezclado manual de los elementos componentes del CCR	163
F.9. Molde más extensión de un collar superior para la elaboración de las probetas CCR	164
F.10. Compactación de las capas con equipo proctor modificado (método C)	164
F.11. La extensión superior del collar en el molde facilita la compactación de la última capa	165
F.12. Nivelación de la última capa de compactación	165
F.13. Calibración de la cantidad de golpes de compactación a través de la máxima densidad seca.	166

ÍNDICE DE FIGURAS

F.14. Finalizado la elaboración de especímenes se cubre con bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad	166
F.15. Después de desamoldar los especímenes CCR es curado en tanques de almacenamiento de agua	167
F.16. Resistencia a la compresión con 12 % de contenido de cemento, falla en la parte superior y descascaramiento	167
F.17. Resistencia a la compresión con 14 % de contenido de cemento, falla en la parte superior del espécimen	168
F.18. Resistencia a la compresión con 16 % de contenido de cemento, falla en la parte superior del espécimen	168
F.19. Resistencia a la compresión con 16 % de contenido de cemento, fractura total del espécimen	169
F.20. Se observa la distribución de los componentes de mezcla CCR en un espécimen con 16 % de contenido de cemento, sometido al ensayo de resistencia a la compresión	169

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La ingeniería ha ido evolucionando con el transcurrir de los años, tal es así que se han incluido nuevos conceptos ya sea en la fase de diseño, construcción o mantenimiento de los mismos. En el medio es frecuente el empleo de concreto convencional¹ y asfalto para el desarrollo de los proyectos viales ya sean urbanas o vías de comunicación vecinal, regional o nacional.

El concreto compactado con rodillo (CCR) es una alternativa como capa de rodadura dentro de los pavimentos, pero también cabe destacar que este tipo de material a sido ampliamente usado en la construcción de presas. No se puede precisar con exactitud la aparición del concreto compactado con rodillo, sin embargo podría atribuirse al empleo como tierra estabilizante (suelo-cemento) y base tratada con cemento para la capa granular² de los pavimentos.

C. A. Londoño - ICPC (1988)[15], en una publicación de notas técnicas sobre concreto compactado con rodillo refiere que la primera vez que se hablo de CCR fue en 1970, en una conferencia dictada por Jerome M. Raphael “La presa de gravedad

¹Se denomina concreto convencional por que tiene una amplia utilización en obras de concreto mas comunes y usualmente esta compuesto por cemento (generalmente Portland), áridos(grueso y delgado) y una proporción adecuada de agua.

²Se refiere a la capa de la estructura del pavimento, producto del mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante (subbase y base)

óptica”, cuya finalidad era mejorar la calidad de los materiales para disminuir las secciones de gravedad. Así mismo manifiesta que la primera vez que se uso en la construcción de pavimentos fue en 1970 en España, donde se realizó trabajos en vías de tránsito liviano, en urbanizaciones y calles.

C. A. Carrillo V. y V. I. Orellana (2003)[6], a través del viceministerio de obras públicas de El Salvador, presentan un informe técnico de algunas consideraciones sobre el concreto compactado con rodillo en la construcción de la estructura del pavimento del Proyecto Paquete II Carretera “San Martín - San Rafael de Cedros” el cual comprende la ejecución de 14.52 kilómetros de longitud, dos carriles por sentido y 20 centímetros de espesor.

En latino américa países como Argentina están desarrollando el CCR como una alternativa dentro de la ingeniería vial. En una monografía³ publicada por la Universidad Nacional de Rosario, manifiesta que la primera experiencia en Argentina data de 1986 cuando se realizó un tramo experimental de 180 m en el puerto Mandryn ruta nacional N° 03.

M.R. Escalaya A. y J.E. Alva H. (2003)[11] y posteriormente M.R. Escalaya A. (2006)[10], presentaron trabajos sobre diseño de mezclas de CCR utilizando conceptos de compactación de suelo, donde se explica las características y campos de uso de este material y la filosofía a seguir en el diseño de mezclas.

W. Chuchón C. (2003)[9], realizó una investigación sobre el estudio de los pavimentos suelo-cemento en comparación frente a los pavimentos de concreto simple, esto como parte de la obtención del título de ingeniero civil. En este trabajo se presentan las características que debe cumplir una mezcla suelo-cemento para ser aplicado dentro de los pavimentos, las condiciones y consideraciones a tomar dentro del proceso constructivo y la evaluación de los costos, tanto en la fase de inversión inicial como en el mantenimiento periódico. Es importante mencionar que el concreto hidráulico presenta características diferentes a una mezcla suelo-cemento (contenido de humedad, proporción de cemento, contenido de finos en el agregado) tal como

³M. Belén Alonso et al [5], “Hormigón Compactado con Rodillo de Uso Vial”

señala Chuchón en la investigación desarrollada.

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente en lo que refiere al área de la pavimentación hay la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan superar las desventajas que se presentan con los materiales y técnicas tradicionalmente usados (concreto convencional y asfalto).⁴

El empleo del concreto convencional en los pavimentos viene demostrando resultados acordes a las exigencias, sin embargo hay características que impiden muchas veces su empleo en los pavimentos; como podría ser los altos costos que estos demandan para su construcción. Otro aspecto que logra gran impacto sobre el usuario y algunas veces impiden su aplicación en los pavimentos es el tiempo de liberación al servicio. La carencia de tener más vías pavimentadas a llevado al empleo de materiales como el concreto asfáltico que permiten abaratar los costos de construcción inicial; sin embargo este ahorro logrado en un inicio no refleja el costo total del pavimento a lo largo de su vida útil, pues se incrementa por los constantes mantenimientos frente a un mínimo mantenimiento que reciben los concretos hidráulicos, incluso estos costos de mantenimiento pueden acrecentarse aun mucho más en zonas con condiciones climáticas desfavorables. Además debe tenerse en cuenta los costos del usuario con su seguridad frente a vías carentes de condiciones de serviciabilidad producto del descuido en el mantenimiento y con la demoras que se originan por congestionamientos relacionados con trabajos de conservación y repavimentación.

Tomando las consideraciones arriba expuestas y las características nobles que presentan los concretos hidráulicos, podría el concreto compactado con rodillo ser una alternativa a considerar dentro de los pavimentos.

Finalmente las interrogantes para la presente investigación quedan planteadas como sigue.

⁴El concreto convencional y asfalto son de mayor uso dentro de la pavimentación, pero no son los únicos, pues existen otros métodos como el empleo de adoquines, rocas, prefabricados, etc.

1.2.1. Problema Principal

- ¿De qué forma el empleo de concreto compactado con rodillo repercute en el campo de aplicación de los pavimentos? y ¿Cómo impacta dentro de las características técnica y económica?

1.2.2. Problemas Secundarios

- ¿En qué medida beneficiará el uso de conceptos de compactación de suelos en el diseño óptimo del concreto compactado con rodillo?
- ¿De qué manera reduciríamos el tiempo de liberación al servicio de los pavimentos, sin alterar las características que nos ofrece el uso de un concreto hidráulico?
- ¿Será significativo las diferencias al analizar proyectos viales con el uso de concreto compactado con rodillo frente al empleo de alternativas como el concreto convencional o concreto asfáltico en un proyecto de la región (*Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesus Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho*)?

1.3. Justificación e Importancia

El desarrollo de los pavimentos tanto urbanos como de conexión vecinal, regional o nacional han ido creciendo a lo largo de los años como consecuencia de la demanda de tener mejores vías de comunicación que permitan dar mayor seguridad, comodidad y mejorar la calidad de vida de las personas. Esta creciente demanda que se presenta implica hacer grandes inversiones para su implementación, una reducción de costos llevaría a satisfacer las necesidades de otros usuarios que también lo ameritan, sin embargo esta reducción de costos debe estar ligado con proyectos que sean sostenibles a lo largo de su vida útil y no se encarezcan por trabajos de conservación y repavimentación.

1.4. *Objetivos de la Tesis*

La búsqueda de nuevos materiales y técnicas constructivas como alternativas de aplicación dentro del campo de los pavimentos y como consecuencia diseños cada vez más óptimos, cobra importancia a raíz que existen características que no satisfacen ciertas condiciones de uso dentro de lo actualmente utilizado (concreto convencional y concreto asfáltico), ya sean estos, aspectos técnicos o económicos.

El comportamiento de los pavimentos ante factores climáticos, cobra importancia, pues influye en el mantenimiento que tienen que recibir a lo largo de su vida útil, muchas veces este aspecto prevalece al momento de elegir las alternativas posibles de uso.

La presente investigación respecto al empleo del concreto compactado con rodillo en los pavimentos, es importante porque busca reducir los costos de inversión para su implementación aprovechando las características que nos brinda el concreto convencional, así como la rapidez constructiva que ofrece la colocación de un pavimento asfáltico y la posibilidad inmediata de apertura al tránsito.

1.4. Objetivos de la Tesis

Los objetivos que guían el desarrollo de esta investigación son:

1.4.1. Objetivos Generales

- Analizar cómo repercute el empleo del concreto compactado con rodillo en el campo de los pavimentos y cuáles son los impactos que se presentan inmediatamente y a lo largo del periodo de servicio, sobre todo las características técnicas y económicas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el diseño óptimo del concreto compactado con rodillo, haciendo uso de procedimientos geotécnicos (teorías de compactación de suelos) y propiedades del CCR.

- Evaluar la posibilidad de reducción del tiempo de liberación al tránsito de pavimentos con concreto compactado con rodillo y sus consecuencias.
- Realizar el análisis en un proyecto de la región⁵, si se aplicara concreto compactado con rodillo frente a uno de concreto convencional o concreto asfáltico.

1.5. Organización del Estudio

El presente trabajo está organizado de tal forma que primero se haga un recuento de los conocimientos de los pavimentos, luego se explica a detalle los aspectos relacionados al concreto compactado con rodillo en los pavimentos, para proceder con los ensayos que permitan cumplir los objetivos planteados para la presente tesis. A continuación se detalla la estructura que seguirá el desarrollo de la presente investigación:

- El **Capítulo 1**, describe todo lo concerniente a la parte introductoria de la presente investigación. Se hace un análisis de lo que se quiere investigar, su evolución con el transcurrir de los años y se formula el problema, se describe el sustento que justifique la importancia de la investigación y se delimita los objetivos que persigue la presente investigación.
- En el **Capítulo 2**, se hace una mirada al estado del arte de los pavimentos, los tipos o clasificación de pavimentos, los factores a tener en cuenta para el diseño de los pavimentos, especialmente para pavimentos de concreto hidráulico y finalmente se presenta un enfoque para el diseño de pavimentos. Los conceptos descritos en este capítulo están en concordancia con la normativa peruana.
- **Capítulo 3**, en esta parte se describe ampliamente los conceptos relacionados al concreto compactado con rodillo (CCR) en los pavimentos, descripción de las características que deben poseer los materiales que componen la mezcla

⁵Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Ila Cruz, Distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho

1.5. Organización del Estudio

de CCR, los conceptos para el diseño de mezcla, las propiedades que presenta el concreto compactado con rodillo, la filosofía de diseño de espesor de los pavimentos con CCR y los procedimientos del proceso constructivo.

- En el **Capítulo 4**, se explica los ensayos de laboratorio seguidas para el diseño de mezcla del concreto compactado con rodillo, primero se procede con el análisis granulométrico de los agregados para estimar la relación que cumpla con los límites establecidos, se determina el óptimo contenido de humedad el cual nos permite compactar la mezcla de CCR hasta encontrar la máxima densidad seca, variando contenidos de cemento y siguiendo el procedimiento del proctor modificado, posteriormente se elabora los especímenes cilíndricos de concreto para su evaluación a la resistencia de compresión que ofrecen.
- El **Capítulo 5**, es una síntesis de los aspectos técnicos y económicos del proyecto de aplicación (diseño estructural del pavimento, diseño de mezcla y análisis de los costos unitarios de las partidas correspondientes al colocado de la capa de rodadura del pavimento); así mismo se hace la evaluación del referido proyecto, con la propuesta de la alternativa de concreto compactado con rodillo.
- En el **Capítulo 6**, se hace el análisis de los resultados obtenidos en el estudio del concreto compactado con rodillo en los pavimentos y se compara frente a la alternativa del concreto convencional.
- El **Capítulo 7**, abarca las conclusiones que se obtuvieron durante la realización de la presente tesis y las recomendaciones según las experiencias adquiridas, además se menciona algunos temas afines de investigación.
- En la **Bibliografía**, se presenta el material e información utilizada en el presente estudio (libros, tesis, revistas, apuntes).
- En el **Apéndice A**, se adjunta el diseño de mezcla de concreto realizado para el Proyecto Villa San Cristóbal, este estudio servirá de comparación con el concreto compactado con rodillo.

1.5. Organización del Estudio

- En el **Apéndice B**, se muestra el resultado de los ensayos de laboratorio realizado para el diseño de mezcla del concreto compactado con rodillo.
- En el **Apéndice C**, se muestra el resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto compactado con rodillo con los diferentes contenidos de cemento.
- En el **Apéndice D**, se adjunta el presupuesto cliente de la aplicación práctica, además de los costos unitarios de las partidas referidas a la colocación de la capa de rodadura del pavimento gestionado con concreto convencional.
- En el **Apéndice E**, se adjunta los costos y precios de los recursos mano de obra, materiales y equipos, que servirán para actualizar los costos unitarios de las partidas del proyecto en aplicación, así como para elaborar el análisis de costos unitarios con la propuesta CCR.
- En el **Apéndice F**, se adjunta la galería fotográfica de los ensayos realizados para el diseño de mezcla CCR.

Capítulo 2

Estado del Arte de los Pavimentos

El crecimiento que experimentan las poblaciones trae consigo la necesidad de contar con una infraestructura vial que permita el desarrollo económico y social, como tal, el estado del conocimiento de los pavimentos a ido evolucionando a nivel de las distintas etapas como son: estudios, concepción, construcción y conservación. Las características deseadas para un buen desempeño del pavimento son: resistencia y durabilidad de los materiales ante las cargas de tráfico y a los agentes del intemperismo, serviciabilidad, buen drenaje, deben ser económicos tanto en los costos de construcción y mantenimiento, durables, seguros y amistosos al medio ambiente.

El diseño de pavimentos a ido evolucionando, cuando en un inicio el cálculo de los espesores de la estructura era en base a la experiencia, hasta plantear métodos mecanísticos de diseño y evaluación, aunque cabe mencionar que el empirismo aun juega un papel importante en la actualidad, puesto que investigadores y académicos concuerdan que el comportamiento de los pavimentos esta influenciado por varios factores que no permiten una modelación por métodos mecanísticos puros.

Hay muchas agencias de investigación que han desarrollado modelos de diseño y evaluación de pavimentos, sin embargo solo unos cuantos son de mayor uso dentro del país como la del Instituto del Asfalto, Portland Cement Association¹ (PCA) y American Association of State Highway and Transportation Officials² (AASHTO).

¹Asociación de cemento portland

²Asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transporte

2.1. Descripción y Función de los Pavimentos

En la actualidad en el país se cuenta con dos normativas referidos a pavimentos: el primero, *Manual de Carreteras (Sección Suelos y Pavimentos)*[19], que tiene alcance a caminos pavimentados y no pavimentados de bajo, medio y alto volumen de tránsito que no superen un tráfico de hasta 300000 ejes equivalentes en el periodo de horizonte del proyecto y la *Norma Técnica CE 010*[20] referido a pavimentos urbanos. Ambos documentos hacen referencia a la metodología de diseño del AASHTO - 1993, *Guía Para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*, si bien la última versión del AASHTO viene a ser la *Guía de Diseño Empírico - Mecanístico* publicada en julio del 2008, este aun no es de amplia práctica en el país por la inexistencia de una adecuada zonificación climática, así como de una base de datos horaria que contengan la información de temperatura, humedad, precipitación y vientos que caracterizan el clima de cada una de las zonas del territorio nacional tal como lo indica el MTC³ en las normativas antes mencionadas, aunque es de esperar que en un futuro métodos con base mecanística sean empleados para los propósitos de evaluación y diseño.

2.1. Descripción y Función de los Pavimentos

El pavimento viene a ser la estructura que esta compuesta por un conjunto de capas, que tiene por finalidad el brindar una superficie de rodamiento que permita un tráfico seguro de los usuarios. Estas capas de la estructura se apoyan sobre la subrasante de la vía y han de resistir los esfuerzos que imprimen los vehículos, así como los efectos producidos por el medio ambiente.

2.2. Clasificación de los Pavimentos

Para nuestra clasificación se considera tres tipos de pavimentos: flexible, rígido y semirígido, tal como indica la normativa peruana al respecto, aunque hay autores

³Ministerio de Transportes y Comunicaciones

2.2. Clasificación de los Pavimentos

que incluyen en esta clasificación los pavimentos articulados[16], sin embargo se ahondará la base teórica respecto a los pavimentos flexibles y rígidos por ser de mayor uso en el medio.

2.2.1. Pavimentos Flexibles

Estos pavimentos están revestidos por una capa bituminosa apoyados sobre capas granulares que en conjunto soportan y distribuyen las tensiones y deformaciones producidas por las cargas de la rueda del tráfico.

Los pavimentos flexibles son un sistema de capas con buenos materiales en la parte superior donde la intensidad de los esfuerzos es alta y materiales de calidad inferior en el fondo donde la intensidad es baja (Huang, 2004, p.8)[12]. La distribución de la estructura de un pavimento flexible se aprecia en la figura 2.1

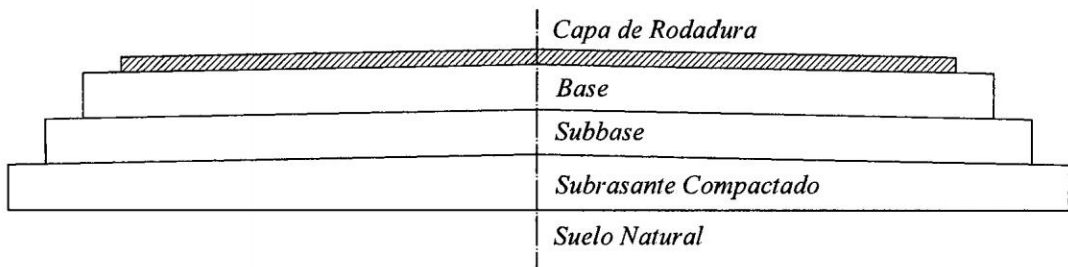


Figura 2.1: Sección típica de un pavimento flexible

Subrasante

Esta capa viene a ser la parte superior del terraplén o el fondo de la excavaciones del terreno natural y es necesario que proporcione un buen soporte para la estructura que se colocará y las solicitaciones que se transmitan. El material que compone esta capa puede ser del lugar o en su defecto será reemplazado por material seleccionado si sus condiciones no son buenas.

Existen ciertas consideraciones que debe cumplir la subrasante según indica el MTC y otros autores.

2.2. Clasificación de los Pavimentos

- Los 0.30 m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactadas al 95 % de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado.
- Los suelos por debajo de 0.60 m del nivel superior de la subrasante deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR > 6\%$, los suelos que estén fuera de este límite deberían ser tratados.

Subbase

Es una capa de material seleccionado y con un espesor que obedece a un diseño. Uno de las principales funciones de esta capa es económica pues ayuda que los esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su resistencia, esta gracias a colocar las capas más calificadas en la parte superior y las capas de menor calidad en el inferior, logrando una disipación de las solicitaciones al cual son sometidas.

Impide el paso de los finos de la subrasante a la base, situación que afectaría la calidad de la base, además se utiliza como capa de drenaje del agua, así como controlador de la ascensión capilar. El MTC (2013, p.24)[19] señala que el material granular de la subbase debe tener un $CBR \geq 40\%$, autores como Reyes (2003, p.33)[23] señala que el $CBR \geq 30$, obteniendo el 95 % de la densidad seca máxima de proctor modificado.

Base

Es la capa que se encuentra debajo de la capa de rodadura, cuya función es transmitir los esfuerzos del tránsito a las capas inferiores, por lo mismo los materiales que la constituyen deben ser de alta calidad.

El CBR por lo menos será 80% ⁴ para una densidad seca correspondiente al 95 % del proctor modificado.

⁴Indica las referencias MTC (2013)[19] y Reyes (2003)[23]

Capa de Rodadura

Es la parte superior del pavimento y debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito pudiendo esta capa ser tratado con concretos bituminosos o similares. Debe lograrse impermeabilizar de tal forma que impida el paso del agua al interior del pavimento.

2.2.2. Pavimentos Rígidos

Son aquellos que generalmente se encuentran apoyados sobre una subbase y donde el componente principal es la losa de concreto hidráulico, como se muestra en la figura 2.2. El concreto es capaz de resistir ciertos esfuerzos de tensión es por eso que aun cuando se tengan subrasantes con características débiles, presentarán resultados satisfactorios, es así que las capas inferiores ejercen poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

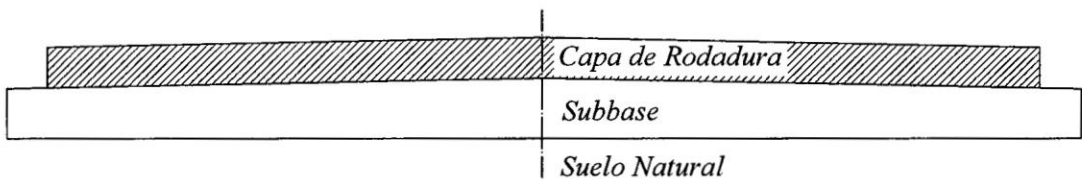


Figura 2.2: Sección típica de un pavimento rígido

Hay características⁵ que se destacan en los pavimentos rígidos y es importante mencionar.

- Ausencia casi total de trabajos de mantenimiento, los trabajos de conservación que requieran los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempos y formas adecuadas para garantizar las propiedades del concreto.
- Durabilidad, presenta un buen comportamiento ante los esfuerzos a los que son sometidos y a los agentes del medio ambiente.

⁵Es una síntesis de los descrito en CEMEX (2010, p.21, 22)[7], Reyes (2003, p.239, 240)[23]

2.2. Clasificación de los Pavimentos

- Mejor distribución de los esfuerzos bajo las losas, dada la rigidez de la losa los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una forma prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga.

Subbase

En sus inicios los pavimentos de concreto fueron directamente construidos sobre la subrasante, sin embargo el incremento de las cargas en las ruedas del tráfico y la exposición al agua hizo necesario el empleo de una capa que mejore las condiciones; y como la mayor parte de los esfuerzos son disipados en la capa de rodadura los materiales que constituyen la subbase por lo general serán de menor capacidad de soporte que los requeridos para la base de los pavimentos flexibles.

Es importante mencionar algunas características que brinda la subbase y fueron descritos en Huang (2004, p.12-14)[12], Reyes (2003, p.267-272)[23], Montejo (2006, p.5-7)[16].

- La función mas importante de la subbase es impedir la ocurrencia del bombeo (*pumping*), se muestra en la figura 2.3, este fenómeno se presenta en las juntas, grietas, bordes del pavimento y consiste en la ascensión de los finos de los suelos a la superficie producto del agua infiltrado y la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Mejora el drenaje del pavimento impidiendo la acumulación de agua bajo la losa de concreto, ésta también ayuda a controlar la acción de las heladas.
- Suministra un apoyo uniforme, estable y permanente; además de facilitar los trabajos de construcción de la losa de concreto.
- Ayuda a controlar la contracción y los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir la acción superficial de tales cambios sobre el pavimento.

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

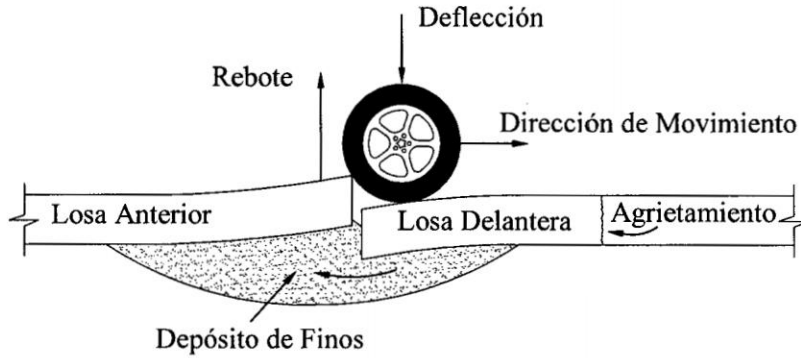


Figura 2.3: Bombeo de un pavimento rígido

Losa de Concreto

Esta capa cumple una función estructural muy importante, pues soporta y disipa la mayor parte de esfuerzos que se le aplican, por lo demás, presenta características similares a la capa de rodadura de los pavimentos flexibles.

2.2.3. Pavimentos Semirígidos

Es aquel que combina pavimentos flexibles y pavimentos rígidos, sin embargo la estructura es similar al de un pavimento flexible, considerando que una de las capas esta rigidizada por cemento, cal, asfalto y químicos. La idea es mejorar las propiedades de los materiales locales que se disponen cuando no presentan condiciones óptimas y si disponen de condiciones buenas, estos se encuentran a grandes distancias que encarecerían el proyecto. Dentro de esta clasificación hay autores que consideran a los adoquines de concreto (MTC, 2013)[19], sin embargo hay otros que prefieren agruparlo como pavimentos articulados (Montejo, 2006)[16].

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Es importante conocer los factores que influyen en el diseño de los pavimentos, no se pretende realizar una revisión exhaustiva, pero si conceptual de manera clara y precisa los aspectos que influyen en el diseño de los pavimentos, de tal forma que se

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

conozca los fundamentos básicos y no haya dudas en secciones posteriores.

2.3.1. Tráfico

Es el factor más importante⁶ a considerar en el diseño de los pavimentos. El tránsito esta compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes que producen tensiones y deformaciones en el pavimento. El tránsito estimado se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 Kips (80 KN) o ESAL (*Equivalent Single Axle Load*).

Existen algunos términos y definiciones que son importantes conocer:

- **Tipos de eje:** en la figura 2.4 se presentan la configuración de ejes.
- **Volumen de tránsito:** se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto durante una unidad de tiempo.



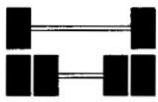
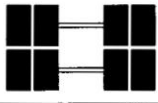
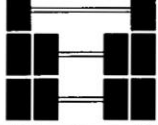
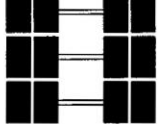
Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con rueda simple)	1RS	2	
EJE SIMPLE (Con rueda doble)	1RD	4	
EJE TANDEM (1 eje de rueda simple + 1 eje de rueda doble)	1RS + 1RD	6	
EJE TANDEM (2 ejes de rueda doble)	2RD	8	
EJE TRIDEM (1 eje de rueda simple + 2 ejes de rueda doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 ejes de rueda doble)	3RD	12	

Figura 2.4: Configuración de Ejes. (*Fuente:* MTC, 2013, p.78)[19]

⁶Diversos autores señalan al tráfico como el factor mas importante, entre los que se puede referenciar; Montejo (2006)[16], Reyes (2003)[23], Huang (2004)[12], MTC (2013)[19]

Determinación del Tráfico

Existe una diversidad de vehículos que circulan sobre los pavimentos durante su vida útil de diseño. La clasificación de estos vehículos es presentando en el *Reglamento Nacional de Vehículos (2003, p.78-85)*[17], donde nos muestra características como el número, tipo, peso de los ejes de los vehículos. Además se realizará el conteo para estimar el índice medio diario (IMD), que representa el promedio de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo, este podrá ser índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

Factor Direccional y Factor Carril

El factor direccional representa al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, usualmente corresponde a la mitad del tránsito presentado en ambos sentidos. El factor carril corresponde al carril que recibe el mayor número de ejes equivalentes.

En base a ambos factores descritos se obtiene el factor ponderado, que fue desarrollado según la guía AASHTO 93 y se presenta en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1: Factores de Distribución Direccional y de Carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

(Fuente: MTC, 2013, p.75)[19]

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Proyección del Tránsito

La tasa de crecimiento del tránsito esta correlacionado con el crecimiento económico y este a su vez relacionado con el producto bruto interno (PBI), usualmente las tasas de crecimiento varían de 2% a 6%. La proyección del tránsito se calcula con la formula exponencial 2.3.1.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1} \quad (2.3.1)$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" (Veh/día)

T_o = Tránsito actual, año cero (Veh/día)

n = Número de años del periodo de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

A partir de la ecuación 2.3.1 es posible determinar el factor de crecimiento acumulado (Fca) para el periodo de diseño y queda expresado en la ecuación 2.3.2.

$$Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad (2.3.2)$$

Factor Equivalente de Carga (FEC)

Conocido como LEF (Load Equivalent Factor) por sus siglas en inglés. Con el objeto de convertir el tráfico a un número de ESAL de 18 kips, se utiliza factores equivalentes de carga FEC. Estos factores se han obtenido a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST. El factor equivalente de carga es un valor numérico que puede ser determinado con la siguiente relación.

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_o} \right)^4 \quad (2.3.3)$$

donde:

P_o = Carga estándar

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

P_1 = Carga cuya equivalencia con la estándar se desea calcular

La sección suelos y pavimentos del MTC[19] presenta relaciones simplificadas para el calculo del FEC que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la guía AASHTO 93 las cuales se presentan en los cuadros 2.2 y 2.3.

Cuadro 2.2: Relaciones para factores equivalentes de carga para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8,2tn}$)
Eje simple de ruedas simples	$EE_{S1} = (P/6,6)^{4,0}$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{S2} = (P/8,2)^{4,0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TA1} = (P/14,8)^{4,0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TA2} = (P/15,1)^{4,0}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TR1} = (P/20,7)^{3,9}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TR2} = (P/21,8)^{3,9}$

(Fuente: MTC, 2013, p.79)[19]

Cuadro 2.3: Relaciones para factores equivalentes de carga para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8,2tn}$)
Eje simple de ruedas simples	$EE_{S1} = (P/6,6)^{4,1}$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{S2} = (P/8,2)^{4,1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TA1} = (P/13,0)^{4,1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TA2} = (P/13,3)^{4,1}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TR1} = (P/16,6)^{4,0}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TR2} = (P/17,5)^{4,0}$

(Fuente: MTC, 2013, p.79)[19]

Donde: P = peso real por eje en toneladas.

Factor Camión

El factor camión (FC) nos brinda una manera de expresar el daño que produce el tráfico, en términos del deterioro que produce un vehículo en particular, hay que considerar la suma de los daños producidos por cada eje de ese tipo de vehículo. De este criterio nace el concepto de Factor Camión, que se define como el número de

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

ESAL's por número de vehículo.

Si determinamos el factor camión de un C2 según muestra la figura 2.5 para un pavimento rígido sería:

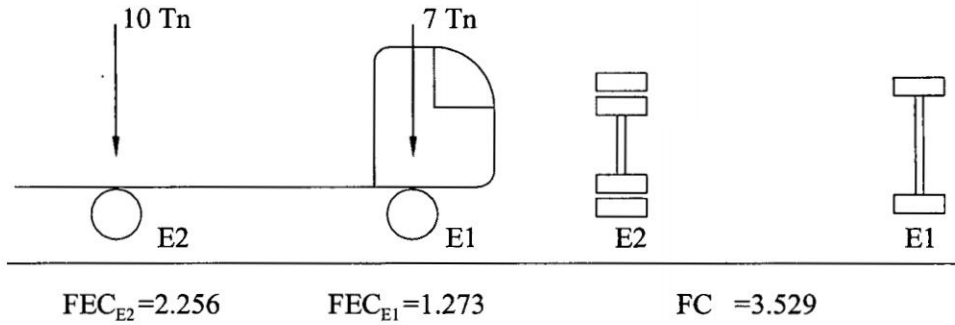


Figura 2.5: Cálculo del Factor Camión

Determinación del Número de Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas

Una vez que se a determinado el número acumulado que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas mediante el factor camión.

$$ESAL_{Diseño} = \sum (ESAL_{día-carril} \times Fca \times 365) \quad (2.3.4)$$

de 2.3.4 se sabe:

$$ESAL_{día-carril} = IMD \times Fd \times Fc \times FC \quad (2.3.5)$$

Donde:

$ESAL_{Diseño}$ = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Tn.

$ESAL_{día-carril}$ = Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño.

Fca = Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

IMD = Índice medio diario inicial según el vehículo pesado seleccionado.

Fd = Factor direccional.

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

F_c = Factor carril de diseño.

FC = Factor camión.

Σ = Sumatoria de ejes equivalentes de todos los tipos de vehículos pesados por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

2.3.2. Estudio de los Suelos

En esta sección se hará el estudio y descripción de los aspectos fundamentales relacionados con el suelo, puesto que es importante conocer las características de la capa donde se asentarán los pavimentos. También se presenta la clasificación de los tipos de suelo.

Características de la Subrasante

Anteriormente se definió las características que cumple esta capa dentro de la estructura del pavimento. La sección suelos y pavimentos del MTC (2013)[19], así como la norma CE.010 (2010)[20] nos brindan pautas para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante, que puede ser mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas con una profundidad mínima de 1.50m, el número y la ubicación de estos ensayos se describen en ambas normativas según sea el caso.

Estos estudios determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios, etc. También se delimitará zonas con subrasante pobre o inadecuada que requieran mejoramiento o estabilización de los suelos.

Para un buen conocimiento de la subrasante de la calzada se tiene en cuenta tres etapas distintas (Reyes, 2003, p.128).

- Una identificación geotécnica, que permita aproximar el comportamiento predecible del suelo al comportamiento general de una familia conocida. Esta etapa se fundamenta en la clasificación de los suelos.
- Un estudio de los parámetros de estado, pues para una familia de suelos existen

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

parámetros característicos de su compartimiento, por ejemplo el proctor y el CBR⁷.

- Una evaluación de la capacidad portante, que va a depender del contenido de agua, apoyada también por el CBR.

Descripción de los Suelos

Para poder describir los suelos es necesario conocer las propiedades de éstos.

1. Granulometría

Nos indica como se encuentran distribuidos los elementos del suelo en función de su tamaño, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.4: Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material	Tamaño de las Partículas
Grava	75 mm - 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo 0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla Menor a 0.005 mm

(Fuente: MTC, 2013, p.36)[19]

2. Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto limite, sin romperse. (CEMEX, 2010, p.28)[7]

La plasticidad de un suelo solo depende de los elementos finos y para conocer la plasticidad de los suelos se hace uso de los límites de Atterberg. (MTC, 2013, p.36, 37)[19]

- *Límite Líquido (LL)*, cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

⁷California Bearing Ratio

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

- *Límite Plástico (LP)*, cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.
- *Límite de Contracción (retracción)*, cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.
- *Índice de Plasticidad (IP)*, se refiere a la diferencia LL y LP, indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bien el suelo.

Cuadro 2.5: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$20 \geq IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

(Fuente: MTC, 2013, p.37)[19]

3. Índice de Grupo

Es un índice normado por AASHTO, para clasificar suelos y esta basado en los límites de Atterberg.

$$IG = 0,2(a) + 0,005(ac) + 0,01(bd) \quad (2.3.6)$$

Donde:

$a = F-35$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 - 74 micras).

Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$b = F-15$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 - 74 micras).

Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$c = LL-40$ (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

$d = IP-10$ (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

entre 0 y 20 o más.

A partir del índice de grupo podemos clasificar los suelos como sigue

Cuadro 2.6: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
$IG > 9$	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

(Fuente: MTC, 2013, p.38)[19]

Clasificación de los Suelos

Al existir una diversidad de tipos de suelo, es necesario desarrollar métodos que permitan clasificar en función a las características descritos anteriormente.

Actualmente los sistemas más usados para la clasificación, son el AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

El AASHTO a clasificado en ocho grupos que van del A1 - A8. En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A1 - A7. Estos a su vez se subdividen en un total de 12 subgrupos. Los suelos con materia orgánica se encuentran en el grupo A8. (Montejo, 2006, p. 43-60)[16]

El sistema SUCS propone un sistema de clasificación que divide a los suelos en: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos.

Si más del 50 % del material es retenido en el tamiz N° 200 será un suelo grueso, y si más del 50 % del material pasa el tamiz N°200 será un suelo fino. En el cuadro 2.7 se presenta una correlación del sistema AASHTO y el SUCS.

Valor Soporte o Resistencia de los Suelos

Uno de los ensayos más difundidos para la resistencia de los suelos es la *Relación Californiana de Soporte* CBR (California Bearing Ratio).

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Cuadro 2.7: Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM-D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

(Fuente: MTC, 2013, p.39)[19]

de densidad y humedad controladas. Se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. (CEMEX, 2010, p.31)[7], (Montejo, 2006, p.64, 65)[16]

En el cuadro 2.8 se presenta la clasificación de la subrasante en función del CBR.

Cuadro 2.8: Categorías de subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S_0 : Subrasante Inadecuada	$3\% > CBR$
S_1 : Subrasante Pobre	$6\% > CBR \geq 3\%$
S_2 : Subrasante Regular	$10\% > CBR \geq 6\%$
S_3 : Subrasante Buena	$20\% > CBR \geq 10\%$
S_4 : Subrasante Muy Buena	$30\% > CBR \geq 20\%$
S_5 : Subrasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

(Fuente: MTC, 2013, p.40)[19]

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR se usará la ecuación 2.3.7 según la sección suelos y pavimentos del MTC (2013)[19], preparado por NCHRP (National Cooperative Highway Research Program).

$$Mr(psi) = 2555 \times CBR^{0,64} \quad (2.3.7)$$

Módulo Resiliente

Según MTC (2013, p.42)[19] es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndola ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se puede usar directamente en el diseño de pavimentos flexibles; para el diseño de pavimentos rígidos debe convertirse a modulo de reacción de la subrasante (valor K).

2.3.3. Clima

Por las características de la región son dos factores que influyen el diseño y el comportamiento de los pavimentos: los cambios de temperatura y las lluvias que se presentan.

Temperatura

En el territorio peruano, sobre todo en las zonas alto andinos, hay épocas en donde se presentan grandes rangos de variaciones de temperatura, aproximadamente 40⁸ grados centígrados. Estas variaciones de la temperatura genera en los pavimentos rígidos esfuerzos muy elevados⁹, que genera el levantamiento de las esquinas debilitándolo hasta su rompimiento. En los pavimentos flexibles (asfálticos) la variación de temperatura puede ocasionar la modificación del módulo de elasticidad y con ello deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

Lluvias

Las lluvias por su acción directa en la evaluación del nivel freático influye en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticos. (Montejo, 2006, p.9)[16]

⁸ Así lo señala la sección Suelos y Pavimentos del MTC (2013)[19] y se presentaría en los meses de Junio a Octubre.

⁹ Estos esfuerzos, en algunos casos pueden ser superior a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre los pavimentos rígidos. (Montejo, 2006)[16]

2.3.4. Materiales

Los materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas mínimas de acuerdo a las normativas vigentes en el país, también debe estudiarse la disponibilidad de los materiales en la zona, para una correcta elección de la estructura del pavimento que sean factibles técnica y económicamente.

La obtención de los requisitos mínimos que deben cumplir las capas de soporte de la capa de rodadura de los pavimentos como es el caso de la subbase y base granular, deben estar acordes a las *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras MTC*[18] (EG - vigentes) o según lo señale el ingeniero responsable para proyectos con características especiales que no estén contemplados; así lo señala la sección Suelos y Pavimentos del MTC (2013)[19] y la norma CE.010 (2010)[20].

Materiales Para los Pavimentos Asfálticos

Los pavimentos asfálticos ya sean fríos o calientes, deben cumplir los requisitos establecidos en el capítulo N° 4 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras[18]. Así mismo deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos. (MTC, 2013, p.133)[19], (CE.010, 2010, p.9, 10)[20]

Materiales Para los pavimentos Rígidos (Concreto Hidráulico)

Al igual que los pavimentos asfálticos, los pavimentos de concreto hidráulico tendrán que cumplir las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras. Definiremos algunos aspectos que considero son necesarios conocer.

1. Concreto Hidráulico

Según Rivva (2000, p.8)[25], el concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta¹⁰, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado.

¹⁰Pasta es la combinación química del material cementante (cemento) con el agua.

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

En termino sencillos se podría entender al concreto hidráulico como la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y cuando el caso lo requiera, aditivos.

El concreto hidráulico es un material de empleo múltiple en diversas obras de la ingeniería. Dentro de los pavimentos a ido evolucionando a lo largo de los años, buscando garantizar una durabilidad que satisfaga los requerimientos para el cual fueron diseñados.

Los materiales deben presentar las siguientes características.

a) **Cemento**

Se define como cemento a los materiales pulverizados, que por la adición de una cantidad de agua, forman una pasta capaz de endurecer bajo el agua como al aire.

El cemento a utilizar será Portland¹¹ y deberá cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C 150.

Los tipos de cementos que fabrican y usan en el país son el I, II y V; además de los cementos combinados (puzolánicos), como son los tipos IP, IPM y IS.

b) **Agregado Fino**

Es aquel que proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz NTP 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33. (Rivva, 2000, p.179)[25], (EG - MTC, 2013)[18]

El agregado fino estará graduado dentro de los límites indicados en el cuadro 2.9.

El agregado fino además de los límites granulométricos deberá cumplir los requisitos de calidad, presentados en el cuadro 2.10.

¹¹El cemento Portland resulta de la combinación del clinker molido y la adición de cerca del 6 % de sulfato de calcio (yeso). El clinker resulta de la cocción de una fuente molida de cal, sílice, alumina y óxido de hierro a una temperatura aproximada de 1500 °C. (Rivva, 2000)[25]

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Cuadro 2.9: Granulometría del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alterno	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N° 4	95-100
2.36 mm	N° 8	80-100
1.18 mm	N° 16	50-85
600 μm	N° 30	25-60
300 μm	N° 50	10-30
150 μm	N° 100	2-10

(Fuente: (EG - MTC, 2013, p.804)[18], (Rivva, 2000, p.180)[25])

Cuadro 2.10: Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
Durabilidad				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo ≥ 3000 msnm	Sulfato de sodio	MTC E 207	NTP 400.016	10
	Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	15
Limpieza				
Índice de plasticidad, % máximo		MTC E 111	NTP 339.129	No plástico
Equivalente de arena, % mínimo	$f'c \leq 21$ Mpa (210 kg/cm^2)	MTC E 114	NTP 339.146	65
	$f'c > 21$ Mpa (210 kg/cm^2)	MTC E 114	NTP 339.146	75
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo		MTC E 212	NTP 400.015	3
Carbón y lignito, % máximo		MTC E 211	NTP 400.023	0.5
Material que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (N° 200), % máximo		MTC E 202	NTP 400.018	3
Contenido de materia orgánica				
Color más oscuro permisible		MTC E 213	NTP 400.024	Igual a muestra patrón
Características químicas				
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^{=}$, % máximo		-	NTP 400.042	1.2
Contenido de cloruros, expresado como cl^- , % máximo		-	NTP 400.042	0.1
Absorción				
Absorción de agua, % máximo		MTC E 205	NTP 400.022	4

(Fuente: EG - MTC, 2013, p.805)[18]

c) Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N° 4). El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas. (Rivva, 2000)[25], (EG - MTC, 2013)[18]

La granulometría del agregado grueso estará dentro de los límites especificados en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5 % del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6 % del agregado que pasa por la malla de 1/4". (Rivva, 2000, p.182, 183)[25]

El agregado grueso además de los límites granulométricos deberá cumplir los requisitos de calidad, presentados en el cuadro 2.11.

d) Agua

La descripción presentada en Rivva (2000)[25], indica que el agua en combinación con el material cementante reacciona químicamente para la formación de gel¹² y que la masa de concreto en conjunto adquiera propiedades que en su estado no endurecido facilite manipulación y trabajabilidad, y en su estado endurecido lo convierte en un producto con las características deseadas.

¹²Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación. (Rivva (2000)[25]

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Cuadro 2.11: Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
Dureza				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles		MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40
Durabilidad				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo ≥ 3000 msnm	Sulfato de sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12
	Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18
Limpieza				
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo		MTC E 112	NTP 400.015	3
Carbón y lignito, % máximo		MTC E 211	NTP 400.023	0.5
Geometría de las partículas				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo		MTC E 210	ASTM D - 5821	60
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1), % máximo		–	NTP 400.040	15
Características químicas				
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^{=}$, % máximo		–	NTP 400.042	1.0
Contenido de cloruros, expresado como cl^{-} , % máximo		–	NTP 400.042	0.1

(Fuente: EG - MTC, 2013, p.808)[18]

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como agua de mezclado aquellas que se consideran potables o que por experiencia se

2.3. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

conozca que pueden ser usados en la preparación del concreto.

A continuación se presenta los valores máximos de sales y sustancias aceptados para que el agua pueda ser usado en el concreto y esta expresado en partes por millón.

Cuadro 2.12: Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua

Sustancia	Límite
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

(Fuente: Rivva, 2000, p.255)[25]

e) Aditivos

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad para modificar las propiedades del concreto, con la finalidad de adecuarlo a las condiciones especiales del pavimento por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento. Los aditivos a usar pueden ser inclusores de aire, reductores de agua, acelerantes y retardantes de fragua; los cuales deben cumplir las especificaciones indicadas en las normas. (EG - MTC, 2013, p.809)[18]

2. Hidratación y Curado del Concreto

La hidratación es la reacción química que se produce por el contacto del agua con el cemento, para cumplir con el ciclo de hidratación es necesario que se provea de un adecuado procedimiento de curado así como el tiempo necesario. Se define como curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido húmedo y a temperatura adecuada, tales que permitan completar la hidratación

2.4. Enfoque de Diseño de Pavimentos

del cemento, así como alcanzar las resistencias deseadas. El curado¹³ podrá ser mediante: humedad, productos químicos y laminas para cubrir el concreto.

- El curado por humedad, es el método más sencillo y efectivo. Consiste en inundar la superficie con agua¹⁴. Es importante que la temperatura del agua y del concreto no exceda los 7 °C para evitar un choque térmico además la superficie siempre debe estar saturada para evitar ciclos de humedecimiento y secado.
- En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de calidad certificada que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie del pavimento garantice el correcto curado de éste. El producto por utilizar, debe satisfacer todas las especificaciones de calidad que indique su fabricante. La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de la colocación del concreto.
- Las láminas para cubrir el concreto pueden ser: cubiertas húmedas de tela, costales, paja o arena húmedos en un espesor de 25 mm, y deben permanecer húmedas durante todo el periodo de curado. Otros tipos de cubierta pueden ser de polietilenos generalmente en color blanco, los cuales deben extenderse tan pronto termine las operaciones de acabado superficial y deben sellarse con cinta o sostenerse con bloques.

2.4. Enfoque de Diseño de Pavimentos

En esta sección no se pretende describir métodos de diseño para los pavimentos, lo que se busca es conocer un enfoque que debe seguirse para el diseño de los pavimentos. Chang (2013)[8], presento un enfoque para el diseño de pavimentos que

¹³Las formas previstas para el curado, que en este documento se señalan son descritos en EG - MTC (2013)[18]

¹⁴El agua, debe cumplir los requisitos señalados en items anteriores.

comprende tres fases:

Fase 1: *Evaluación del Problema*

En esta fase se evalúan las características del proyecto y las condiciones que influyen en el desempeño futuro del pavimento. Entre estas características están: la importancia de la vía, composición del tráfico, capacidad de soporte de la subrasante, disponibilidad de los materiales en la zona, cambios climáticos entre otros.

Fase 2: *Análisis Estructural*

Esta fase se inicia con la presentación de prediseños que son analizados técnicamente para verificar si satisfacen los niveles de servicio exigidos durante su vida útil. Los pre-diseños deben incluir información de los espesores de las capas que componen el pavimento, propiedades de los materiales que las conforman, y estrategias de mantenimiento y rehabilitación. En esta fase, el grado de incertidumbre en la predicción del desempeño del pavimento de concreto es menor comparado con otros tipos de pavimentos, debido a que las propiedades del concreto son menos sensibles a los cambios medio-ambientales.

Fase 3: *Viabilidad Técnico-Económica*

Esta fase incluye un análisis de costo-beneficio durante toda la vida útil del pavimento propuesto. Es importante considerar además de los costos iniciales de construcción, los costos futuros de mantenimiento.

Capítulo 3

Concreto Compactado con Rodillo en Pavimentos

3.1. Consideraciones Generales

La definición presentada por el Instituto Americano del Concreto (ACI), señala que el concreto compactado con rodillo es capaz de soportar un rodillo en su estado no endurecido, mientras es compactado (ACI 116R, 1990)[1].

Para que el concreto pueda ser compactado con rodillo, presenta contenidos de agua muy bajos en el proceso de mezclado, esto también garantizará que haya un reventamiento o asiento nulo, que permita lograr una buena adherencia entre los agregados y el elemento cementante al momento de producirse la compactación (INCYC, 2012)[13], (Londoño, 1988)[15].

El ACI 325.10R (2001)[2], describe al CCR como una mezcla relativamente rígida de agregados (usualmente con tamaño máximo¹ no mayor que 3/4" (19 mm), material cementante y agua; que es compactado por rodillos vibratorios. Cuando el CCR es usado como superficie de rodadura generalmente se especifica una resistencia a la compresión mínima de 4000 psi (27.6 MPa).

Los materiales para el CCR son preparados en plantas mezcladoras. Los procedimientos

¹Se debe aclarar que el tamaño máximo señalado es para pavimentos, para otras aplicaciones del CCR se deberá revisar la información correspondiente

tos y los equipos de pavimentación son similares a los empleados en la construcción de pavimentos con concreto asfáltico.

El empleo del concreto compactado con rodillo dentro de la ingeniería, data de hace muchos años y es usado generalmente en dos áreas: presas y pavimentos. Este trabajo solo se ocupará del estudio del CCR en el campo de los pavimentos.

3.2. Materiales

Los materiales básicos usados para la producción del concreto compactado con rodillo (CCR) son los agregados (finos y gruesos), material cementante, agua y en circunstancias que ameritan su aplicación, los aditivos. La definición de los materiales se indicó en el capítulo anterior (sección 2.3.4), para pavimentos rígidos con concreto convencional, sin embargo es oportuno mencionar características no descritos anteriormente, y en algunos casos propios del concreto compactado con rodillo.

3.2.1. Agregados

Los agregados comprenden aproximadamente el 75 a 85 por ciento del volumen² del concreto compactado con rodillo, de ahí la importancia de este material. En su estado fresco, las características del agregado permitirán la trabajabilidad y en su estado endurecido, alcanzar las resistencias deseadas.

Como se había señalado en el capítulo anterior los agregados pueden ser de roca triturada, grava natural o la combinación de ellos, siempre que se cumpla lo establecido en ASTM C 33 o NTP 400.037.

El ACI 325.10R (2001)[2] señala que el CCR que contenga grava natural requerirá menos agua para lograr la consistencia³ que uno que contenga roca triturada. EL CCR que contenga roca triturada puede requerir mayor esfuerzo de compactación,

²La proporción del 75 % a 85 % del volumen del CCR, es señalado por Londoño (1988)[15] y ACI 325.10R (2001)[2]

³Movilidad relativa o capacidad de fluir de un hormigón o mortero fresco; los indicadores habituales son el asentamiento para el hormigón, el flujo para el mortero y la resistencia a la penetración para la pasta cementicia pura. (ACI 116R, 1990)[1]

pero a su vez es más estable durante el proceso de compactación y usualmente proporciona resistencias altas a la flexión, además es menos susceptible de segregarse⁴. La granulometría del agregado deberá ser continua, densa y que en combinación con el cemento se pueda alcanzar una buena compactación. El ACI 325.10R (2001)[2] nos indica que el tamaño máximo nominal del agregado no debe superar los 3/4" (19.1 mm). Un agregado bien graduado nos permitir aproximarnos a la máxima densidad, cuando la mezcla sea compactado.

Se presenta las granulometrías recomendadas en el pliego de prescripciones técnicas españolas y por el cuerpo de ingenieros de los estados unidos, que se indica en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Recomendaciones Granulométricas

Prescripción Española		Cuerpo de Ingenieros	
Tamiz	% que pasa	Tamiz	% que pasa
25 mm	100	25.4 mm	100
20 mm	100	19.1 mm	83 - 100
16 mm	88 - 100	12.7 mm	72 - 93
10 mm	70 - 87	9.5 mm	66 - 85
5 mm	50 - 70	4.76 mm	51 - 69
2 mm	35 - 50	2.38 mm	38 - 56
0.4 mm	18 - 30	1.19 mm	28 - 46
0.08 mm	10 - 20	0.595 mm	18 - 36
		0.297 mm	11 - 27
		0.149 mm	8 - 20
		0.074 mm	2 - 8

(Fuente: Londoño, 1988)[15]

3.2.2. Material Cementante

Los materiales cementante a emplear dentro del CCR son cualquiera de los tipos de cementos que incluyen portland y también pueden incluir puzolanas. Escalaya y Alva (2003)[11], señalan que los cementos útiles tienen como características la baja generación de calor comparado con el tipo I, estos incluyen el tipo II, tipo IP y IS.

⁴La segregación es la concentración diferencial de los componentes del concreto mezclado, los agregados o similares que provoca una clasificación no uniforme en la masa. (ACI 116R, 1990)[1]

El desarrollo de la resistencia para los cementos señalados generalmente es más baja que para el tipo I a edades tempranas, pero producen finalmente resistencias más altas que el tipo I.

El efecto de la puzolanas en la mezcla de CCR, sirve como reemplazo de una fracción del cemento, esto permite reducir la generación de calor así como la reducción de los costos.

3.2.3. Agua

Las características que debe poseer el agua son las mismas que para un concreto convencional y fueron descritos en el capítulo anterior referente a los materiales.

3.2.4. Aditivos

Los aditivos más comunes usados en el CCR, son los retardadores de fragua, pues ayudan a prolongar y garantizar que se dispondrá de mayor tiempo para lograr la compactación exigida.

3.3. Diseño de Mezclas

Las consideraciones a tener en cuenta para un concreto convencional son la durabilidad, resistencia y trabajabilidad, añadiendo a estas propiedades para el caso del CCR la facilidad de compactación. Otra importante consideración que señala Adaska (2006)[3] para la masa de CCR es la minimización del aumento de calor debido a las reacciones químicas del cemento, una forma de controlar este sería con el empleo de puzolanas.

A continuación se señalan algunas diferencias entre el concreto compactado con rodillo y el concreto convencional que se señalan en el ACI 325.10R (2001)[2], así como por Adaska (2006)[3].

- El CCR contiene menores cantidades de agua, por ende la relación agua/cemento

es baja.

- El CCR tiene menor cantidad de pasta.
- EL CCR generalmente requiere mayor contenido de agregado fino, además que el agregado debe estar bien graduado.
- El CCR usualmente no presenta tamaños máximos nominales del agregado que superen 3/4", para minimizar la segregación y producir una superficie suave y uniforme.

Existen dos métodos que se han usado para el diseño de mezcla del CCR que son:

- Dosificación usando los ensayos de consistencia del concreto.
- Dosificación usando los métodos de compactación del suelo.

3.3.1. Diseño del CCR con Ensayos de Consistencia del Concreto

La dosificación del concreto compactado con rodillo mediante ensayos de consistencia basa su estudio en el análisis de la trabajabilidad de la mezcla para CCR, de tal forma que la mezcla sea lo suficiente seca, como para soportar el peso del equipo de compactación, y lo suficiente húmedo para permitir la distribución de la pasta en toda la mezcla. El aparato usado es el consistómetro Vebe y que es descrito en ACI 211.3. El consistómetro Vebe (Figura 3.1) consiste en una mesa vibratoria de frecuencia y amplitud fija y contenedores metálicos de volumen conocido.

El propósito de este ensayo es determinar el tiempo de vibración requerido para consolidar completamente la mezcla, esto se evidencia cuando la pasta empiece a aparecer en la superficie de la mezcla del CCR. En el ACI 325.10R (2001)[2] se indica que 30 a 40 segundos son los más apropiados para la mezcla de CCR en pavimentos.

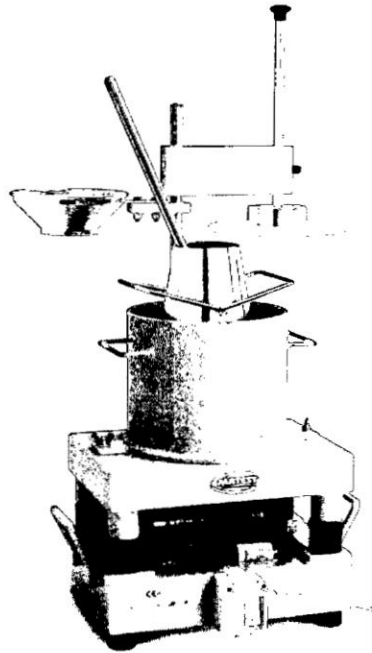


Figura 3.1: Consistómetro Vebe

3.3.2. Diseño de CCR con Método de Compactación de Suelos

El método a usar implica establecer una relación óptima de contenido de humedad y la densidad máxima de la mezcla de CCR. EL aparato y los esfuerzos de compactación usados para determinar la relación humedad-densidad, corresponden al ensayo descrito en ASTM D 1557.

El contenido de cemento en el CCR es determinado por la resistencia y durabilidad que se desea alcanzar en el pavimento, y es expresado como el porcentaje del peso total seco del material (cemento y agregado). El contenido de cemento esta en un rango del 10% a 17% del peso seco, que aproximadamente vendría a ser 208 a 356 kg/m^3 de CCR. (ACI325.10R, 2001)[2]

Para el diseño de mezcla se podría seguir lo indicado por Londoño (1988)[15], se inicia compactando con una energía igual al proctor modificado, diferentes relaciones entre volúmenes de agregado fino y grueso y al graficar los resultados del ensayo (Figura

3.2), se elige la relación de agregado para el cual se logra la máxima densidad.



Figura 3.2: Curva típica del ensayo de compactación, para diferentes relaciones entre agregados

El contenido de agua se encuentra realizando nuevamente ensayos de humedad contra densidad, con la relación de agregados encontrada y variando el contenido de humedad hasta hallar la que permite obtener la máxima densidad posible.

Finalmente se elaboran probetas cilíndricas con concretos producidos con los contenidos de agregado y de agua determinados, como se explicó y con diferentes contenidos de cemento, para luego fallarlas a tracción indirectamente o a compresión y así definir el contenido de cemento para el cual se alcanzan los requisitos de resistencia deseada.

3.4. Propiedades

Las propiedades del concreto compactado con rodillo (CCR), son similares que para un concreto convencional. Las propiedades de resistencia del CCR dependen del contenido de material cementante, calidad del agregado y el grado de compactación. Las diferencias entre las propiedades del concreto convencional y el concreto compactado con rodillo, responden a un menor contenido de agua de este último.

Para el caso del CCR en los pavimentos es importante referirnos a la resistencia a los esfuerzos por flexión y a la resistencia por fatiga, ya que estas propiedades influyen

en el espesor del pavimento.

3.4.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión del CCR es determinada por varios factores: relación agua/cemento, calidad y clasificación del agregado, grado de compactación y el curado. (Adaska, 2006)[3]

Cuando el concreto esta totalmente compactado, la resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la relación agua/cemento, como indica la ley de Abrams (Figura 3.3). Al presentar relaciones bajas del agua/cemento en el CCR, se alcanza altas resistencias a la compresión, cuando se logra la compactación adecuada (Londoño, 1988)[15].

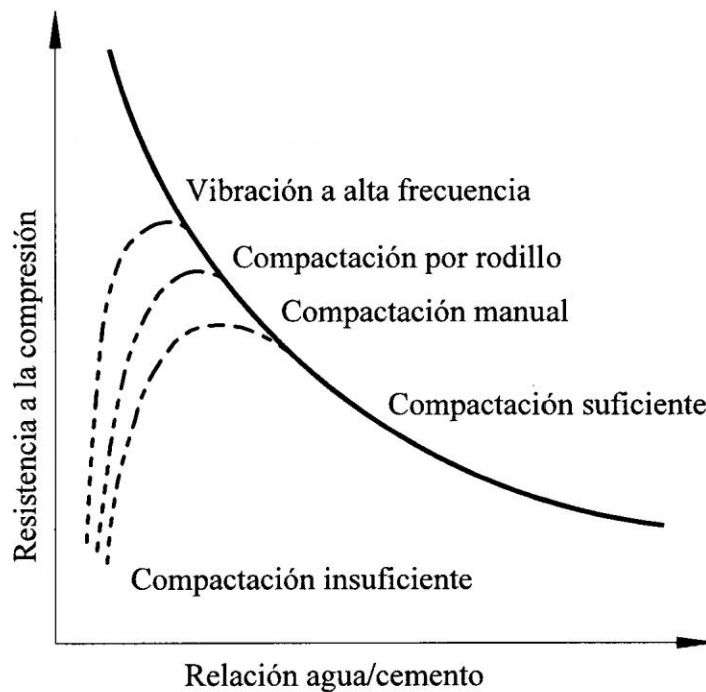


Figura 3.3: Ley de Abrams

3.4.2. Resistencia a la Flexión

No se tiene mucha información disponible sobre la resistencia a la flexión del CCR, por la dificultad de obtener ensayos de las secciones de vigas de los pavimentos

actuales.

Se puede determinar la resistencia a la flexión, mediante la relación con la resistencia a compresión del CCR, que es similar para el concreto convencional y esta dado por:

$$f_r = C\sqrt{f_c} \quad (3.4.1)$$

Donde:

f_r = Resistencia a la flexión, psi (MPa)

f_c = Resistencia a la compresión, psi (MPa)

C = Constante que esta entre 9 y 11

3.4.3. Resistencia a la Fatiga

El concreto compactado con rodillo presenta un comportamiento similar al concreto convencional en la resistencia a la falla por fatiga. La falla por fatiga se define como la ruptura del material luego de continuas repeticiones de cargas causado por menores esfuerzos que la resistencia del material. En la figura 3.4 observa que la falla es función de la relación de los esfuerzos aplicados.

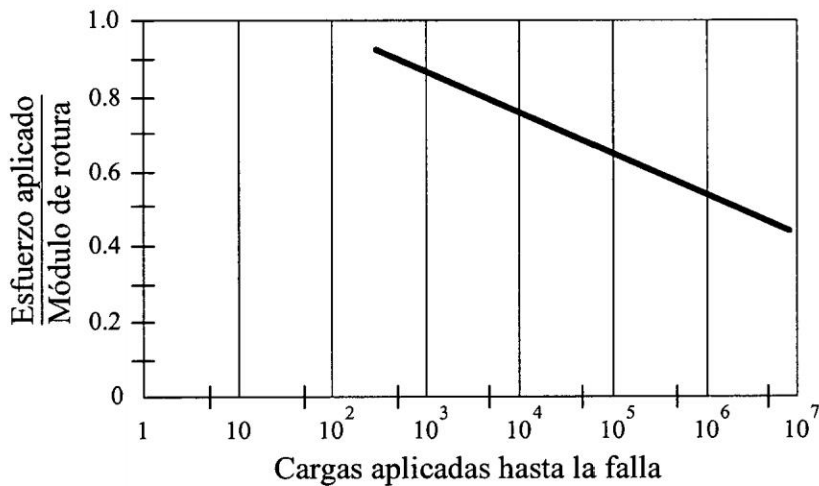


Figura 3.4: Comportamiento del concreto compactado con rodillo ante la fatiga. (Fuente: Londoño, 1988)[15]

3.4.4. Propiedades Elásticas

El ACI 325.10R (2001)[2] indica que el módulo de elasticidad del CCR puede ser similar o ligeramente alto que para un concreto convencional con un contenido similar de cemento.

Londoño (1988)[15], precisa que los principales factores que afectan las propiedades elásticas del concreto son la edad, las características del agregado, la relación agua/cemento y la calidad de la pasta. Además de indicar que el módulo de elasticidad del CCR es de $280\,000\text{ kg/cm}^2$ y el módulo de Poisson de 0.15, éstos tomados del cuerpo de ingenieros de los estados unidos.

3.4.5. Esfuerzos de Adherencias

Permite determinar si los pavimentos de CCR construidos en múltiples capas se comportaran como una capa monolítica o como capas parcialmente adheridas o no adheridas. La capacidad de carga de las capas parcialmente adheridas o no adheridas es significativamente más bajo que aquellas capas adheridas de espesor totales iguales.

3.4.6. Durabilidad

Por la manera que el concreto compactado con rodillo es mezclado y colocado, no ha sido práctico incluir aire en mezclas de CCR en proyectos de campo. Muchos proyectos se han construido en zonas donde ocurren fenómenos de congelamiento y deshielo (Estados Unidos y Canada), esto no puede llevarnos a concluir que el CCR es durable al congelamiento y el deshielo.

El ACI 325.10R (2001)[2] indica que muestras obtenidas de proyectos de pavimento en campo, no han mostrado una buena durabilidad al congelamiento y deshielo cuando han sido ensayados y evaluados en laboratorio de acuerdo al procedimiento de ASTM C 666. Sin embargo no necesariamente eso significa que el CCR no es durable ante fenómenos de congelamiento y deshielo, sino que tendrá que evaluarse

el comportamiento en campo.

3.4.7. Retracción

La retracción en el concreto compactado con rodillo es inferior a la que se presenta en el concreto convencional debido al menor contenido de agua y a un mayor acomodo de los agregados que restringe el movimiento de retracción.

Para una resistencia dada, un concreto de baja trabajabilidad contiene más agregado que una mezcla de alta trabajabilidad para un tamaño máximo dado y por lo tanto menos retracción. En la figura 3.5, se aprecia que para una relación agua/cemento (a/c) de 0.35, al pasar del 70 % al 80 % de contenido de agregado por volumen, la retracción se reduce a casi la mitad.

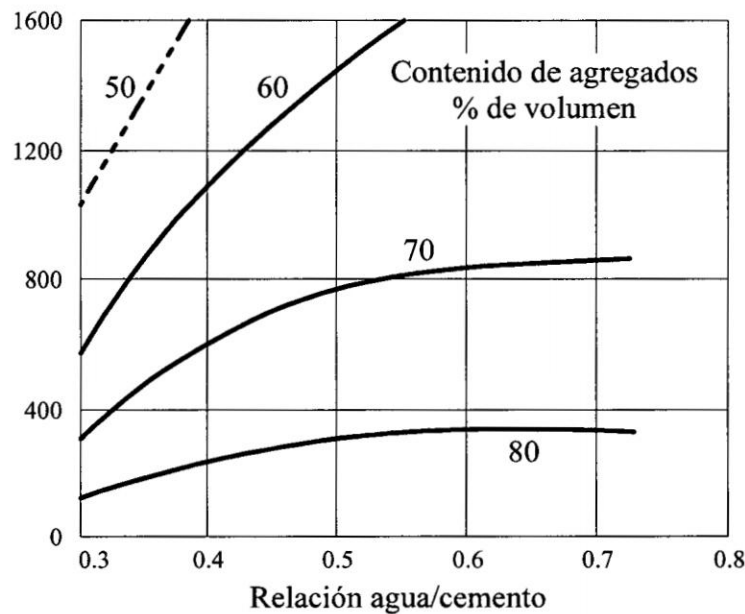


Figura 3.5: Influencia de la relación a/c y el contenido de agregado en la contracción. (Fuente: Londoño, 1988)[15]

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

El ACI 325.10R (2001)[2] y Londoño (1988)[15] manifiestan que el comportamiento estructural que presentan los pavimentos con concreto compactado con rodillo son

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

muy similares al de concreto convencional, de ahí que para el diseño de pavimentos de CCR es el mismo que para un pavimento de concreto convencional. Sin embargo es preciso señalar que el empleo de los métodos tradicionales de diseño de pavimentos rígidos, esta arrojando espesores con factores de seguridad elevado, esto debido a que algunas propiedades del CCR tienen un nivel más alto, razón por la cual se supone que en un futuro se desarrollaran métodos específicos que tengan en cuenta el mejor comportamiento del material específicamente en lo referente a la resistencia a la fatiga y a la flexión⁵.

Para el diseño del espesor del pavimento, en nuestro medio los métodos mas usados son: el Método de la Portland Cement Association (Asociación de Cementos Portland) y a la Guía Para el Diseño de Estructuras de Pavimentos del AASHTO - 1993.

En el Método de la Portland Cement Association (PCA), Los aspectos que tiene que considerarse en los procedimientos de diseño son el análisis por fatiga y por erosión. El análisis por fatiga lleva a proteger el pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por cargas repetidas e influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles y caminos que pueden tener o no pasajuntas en las juntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas en las juntas. Y el análisis por erosión, permite limitar los efectos de la deflexion del pavimento en los bordes de las lozas, juntas y esquinas, de esta forma controlar la erosión de la fundación, puesto que de no hacerlo podrían inducir a las fallas como el bombeo; influye principalmente en el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasajuntas.

El AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), es una organización que fue concebida para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento de espesores conocidos, bajo cargas móviles de magnitudes y

⁵Los pavimentos con CCR llegan a desarrollar resistencias a la flexión superiores en un 25% a las de los concretos convencionales, debido básicamente a las densidades alcanzadas durante la construcción. (Londoño, 1988)[15]

frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente. Ellos desarrollaron uno de los métodos más usados a nivel internacional para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, Guía Para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993, razón por la cual en este trabajo se hará referencia a este método y es necesario hacer una descripción del mismo.

3.5.1. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

La guía para el diseño de pavimentos rígidos fue desarrollado al mismo tiempo que para los pavimentos flexibles y fue presentado en la “Guide for Design of Pavement Structures”, en 1986; en 1993 se presenta una revisión del manual que a sido adoptada por las normativas peruanas vigentes (Manual de Carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”[19] y Norma Técnica CE 010[20]).

El método AASHTO⁶ permite calcular el espesor de un pavimento de concreto para que esta pueda soportar el paso del tránsito estimado, expresado en ejes equivalentes de 80 kN, sin producir la disminución en el índice de servicio (PSI), el cual se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches). La formula general a la que llegó el AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos se expresa en la ecuación 3.5.1.

$$\begin{aligned} \log W_{18} = & Z_r S_o + 7,35 \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} \\ & + (4,22 - 0,32 P_t) \times \log \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/K)^{0,25}} \right]} \right] \end{aligned} \quad (3.5.1)$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN o 8.2 t) previstas.

Z_r = Desviación estándar normal.

⁶La información referente al método AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es una síntesis de lo abordado en Huang (2004)[12], Montejo (2006)[16] y CEMEX (2010)[7], el lector que desee mayor información podrá revisar las fuentes citadas.

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

S_o = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento (en pulgadas).

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Índice de serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga en las juntas.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento e iniciar a realizar tanteos, con el espesor supuesto calcular los Ejes Equivalentes y posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple el equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es correcto.

Respecto a las variables que influyen en el cálculo del espesor del pavimento, se deben hacer las siguientes precisiones.

Tráfico

El método en estudio, requiere la transformación de todo el tránsito que circula sobre el pavimento a lo largo del periodo de diseño a ejes simples equivalentes de 18 kips (W_{18}). Cabe precisar que este factor fue explicado extensamente en la sección 2.3.1.

Confiabilidad (R)

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Si el número de ESALs previstos es menor que el número de ESALs reales, la vida útil del pavimento se acortará. Por lo tanto, la variabilidad en el diseño, en la construcción afectan en gran medida la

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

bondad de un diseño.

La guía para el diseño de estructuras de pavimento sugiere los niveles de confiabilidad expresados en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Confiabilidad recomendada por AASHTO.

Tipo de carretera	Niveles de Confiabilidad	
	Urbana (%)	Interurbana (%)
Autopistas y carreteras importantes	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

(Fuente: Montejo, 2006, p.472)[16]

Asociado al nivel de confiabilidad (R) se puede obtener el valor de la desviación estándar normal Z_r y se presenta en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3: Valores de Z_r en función de la confiabilidad.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

(Fuente: Montejo, 2006, p.471)[16]

Para calcular la desviación estándar de todas la variables, S_o , la guía AASHTO recomienda adoptar lo siguiente:

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

Pavimentos rígidos: 0.30 - 0.40

- Construcción nueva ($S_o = 0.35$)
- Sobrecapas ($S_o = 0.40$)

A continuación se presentan los factores de seguridad en función del tránsito esperado en el carril de diseño (cuadro 3.4) que fueron obtenidos a través de la ecuación 3.5.2.

$$FS = 10^{-Z_r S_o} \quad (3.5.2)$$

Cuadro 3.4: Confiabilidad y factores de seguridad recomendadas.

Tránsito esperado en el carril de diseño (millones de ejes equivalentes)	Nivel de confiabilidad R %	Factor Z_r	Factor S_o	FS
<5	50	0.000	0.35	1.00
5 - 15	50 - 60	0.000 - 0.253	0.35	1.00 - 1.23
15 - 30	60 - 70	0.253 - 0.524	0.35	1.23 - 1.83
30 - 50	70 - 75	0.524 - 0.674	0.34	1.51 - 1.70
50 - 70	75 - 80	0.674 - 0.841	0.32	1.64 - 1.86
70 - 90	80 - 85	0.841 - 1.037	0.30	1.79 - 2.05

(Fuente: Montejo, 2006, p.473)[16]

Serviciabilidad


Mediante la serviciabilidad se puede medir el comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario que circula por la vía (comportamiento funcional). Además relaciona las características físicas que puedan presentarse en el pavimento como los agrietamientos, fallas, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5 (cuadro 3.5). La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles co-

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

mo son: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

Cuadro 3.5: Calificación de la serviciabilidad.

Calificación	Índice de servicio
Excelente	
Muy bueno	
Bueno	
Regular	
Malo	
Intransitable	

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y final $\Delta PSI = P_o - P_t$.

El Índice de Serviciabilidad Inicial (P_o), Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Para un pavimento de concreto el AASHTO recomienda un valor de 4.5, aunque si se tiene buenas técnicas de construcción se puede tener $P_o = 4.7$ o 4.8 (CEMEX, 2010)[7].

El Índice de Serviciabilidad Final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. La calificación que se espera tener de la serviciabilidad esta dado en función de la importancia de la vía y se presenta en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6: Índice de serviciabilidad final

Clasificación	P_t
Autopistas	3.00
Colectores	2.50
Calles comerciales e industriales	2.25
Calles residenciales y estacionamientos	2.00

Transferencia de Carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J. La efectividad de la transferencia de cargas de una losa a otra depende de varios factores: La cantidad de tráfico, la utilización de pasajuntas y la presencia de soporte lateral de las losas (sardinel). El cuadro 3.7, muestra los valores para el coeficiente J.

Cuadro 3.7: Valores de coeficiente de transmisión de cargas J

Tipo de Berma	Asfáltica		Concreto hidráulico	
Pasajuntas	SI	NO	SI	NO
Valores J	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

(Fuente: MTC, 2013, p.271)[19]

Los investigadores recomiendan el uso de pasajuntas cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25 % del tráfico total.
- El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de Esals.

Propiedades del Concreto

Las dos propiedades que influyen el diseño de los pavimentos concreto son:

Módulo de Rotura del Concreto: Es un parámetro muy importante, pues va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la flexión por tensión (S'_c).

La determinación del módulo de rotura del concreto se da por la ecuación 3.5.3, y fue explicado en la sección 3.4.2.

$$S'_c = C\sqrt{f'_c} \quad (3.5.3)$$

Donde:

S'_c = Resistencia a la flexión, psi (MPa)

f'_c = Resistencia a la compresión, psi (MPa)

C = Constante que esta entre 9 y 11

Módulo de Elasticidad del Concreto: Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. El *Módulo de Elasticidad* del concreto esta íntimamente relacionado con su *Módulo de Ruptura*. El AASHTO 93 indica que el módulo de elasticidad puede ser estimado con la ecuación 3.5.4, recomendado por el ACI.

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c} \quad (3.5.4)$$

Donde: E_c y f'_c están dados en psi.

Resistencia de la Subrasante

El estudio de las características que se presentan en la subrasante es muy importante, ya que sobre este se asentarán los pavimentos, estas características fueron descritos con amplitud en el capítulo 2, sección 2.3.2. El *Módulo de Reacción de la Subrasante* (K) nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión y corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.

Para la estimación del módulo de reacción se puede usar las correlaciones que están en función de la clasificación de suelos y el CBR, que nos da el AASHTO como alternativa y es presentado en la figura 3.6.

Drenaje

El drenaje es el proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales

3.5. Diseño del Espesor del Pavimento

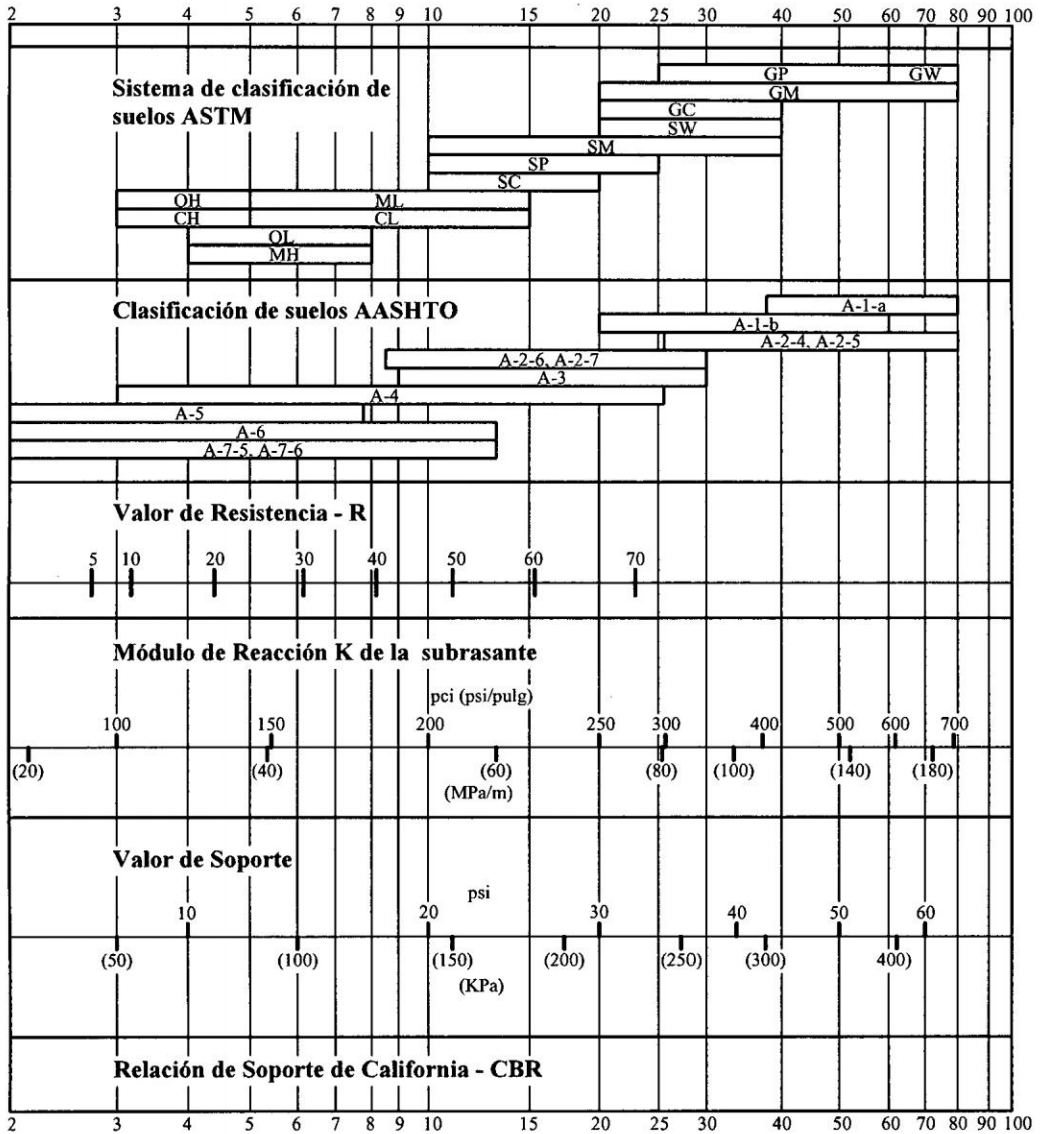


Figura 3.6: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante (AASHTO-93)

o artificiales. El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

El coeficiente de drenaje C_d depende de dos parámetros: la calidad de drenaje, que se determina por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. El porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. El cuadro 3.8 proporciona

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje C_d , teniendo en cuenta los dos parámetros señalados.

Cuadro 3.8: Valores recomendados del coeficiente de drenaje C_d

Cd	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
		<1 %	1 %-5 %	5 %-25 %	>25 %
Excelente	2 horas	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Mediano	1 semana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Malo	1 mes	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy malo	Nunca	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

(Fuente: Montejo, 2006)[16]

Espesor del Pavimento

Una vez que se han definido los valores de los distintos parámetro de diseño, y con la ecuación general del método AASHTO, se obtiene el espesor de losa necesario, para los periodos de diseño recomendados y mostrados en el cuadro 3.9.

Cuadro 3.9: Periodo de diseño

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Urbana de tránsito elevado	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimenta de baja intensidad de tránsito	15-25
No pavimenta de baja intensidad de tránsito	10-20

(Fuente: Montejo, 2006)[16]

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

La construcción de pavimentos con concreto compactado con rodillo involucra el usar para el mezclado, transporte, colocación y compactación, equipos y técnicas similares que para la construcción de pavimentos asfálticos. Por tratarse el CCR de un material distinto al usado para el que se diseñaron los equipos, deben tenerse en

cuenta ciertas consideraciones para el uso de estos, las cuales se detallarán en las secciones siguientes.

3.6.1. Preparación de la Subrasante y Subbase

La preparación de la subrasante y subbase, debe reunir las mismas características que para un pavimento de concreto convencional, y asegurar que se logre una buena compactación del CCR. Se puede encontrar mayor información al respecto en el capítulo 2 sección 2.2.2.

3.6.2. Mezclado

El proceso de mezclado se puede realizar en plantas portátiles o plantas convencionales, dependerá de las características de cada proyecto y sobre todo la evaluación económica.

Mezclado en Plantas Portátiles

Se dice que son plantas portátiles por su fácil traslado y montaje. El concreto compactado con rodillo se puede producir en mezcladoras continuas destinadas para concreto pobre o muy seco. Estas mezcladoras se caracterizan por tener ejes horizontales que rotan dentro de un tambor fijo y tienen adheridas a ellos unas aspas o paletas que agitan la mezcla; estas mezcladoras se conocen con el nombre de "pugmills". En este tipo de plantas mezcladoras, los agregados gruesos y finos se incorporan al recipiente principal por medio de compuertas controladas, que dosifican las cantidades de estos, dependiendo del diseño de la mezcla. El cemento a su vez, se descarga desde el silo de almacenamiento sobre los agregados por medio de un mecanismo que incorpora la cantidad precisa, de acuerdo con el diseño de la mezcla. Para controlar en forma adecuada la cantidad de cemento necesaria en la mezcla, se colocan unos tanques entre el silo de almacenamiento y el mecanismo de alimentación del cemento, los cuales tienen una capacidad de 200 a 350 kg para mantener una

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

presión de cemento constante que asegure un flujo de descarga uniforme. (Londoño, 1988, p.7)[15]

Mezclado en Plantas Convencionales

El empleo de este tipo de plantas resulta ser más costosa y su aplicabilidad esta restringido a ciertas condiciones.

Una condición vendría a ser que se disponga de una planta cercana al lugar del proyecto, que garantice un buen control y la calidad de la mezcla en todo momento. Debido a que el CCR es una mezcla mas rígida, las mezcladoras convencionales solo pueden llenarse con tres cuartas partes del peso normal para el cual fueron diseñadas, ya que así se asegurará una mezcla más homogénea, además los tiempos de mezclado y de descarga deben ser más largos.

3.6.3. Transporte

La mezcla de CCR puede transportarse de dos formas: con camiones de volteo y con camiones mezcladores. La selección del equipo de transporte a usar, debe hacerse pensando en garantizar un abastecimiento eficaz y eficiente de tal modo que se mantenga la velocidad de los equipos de pavimentación. Para reducir la segregación, se debe tratar de hacer la descarga desde alturas lo más bajas posible, así como proteger la mezcla de los efectos que puedan generar los aspectos ambientales como la lluvia, el frío, el calor, etc.

El empleo de camiones mezcladores, para el transporte de CCR, solo debe considerarse en situaciones en las que no es factible el empleo de los camiones de volteo, pues estos podrían incrementar los costos además de presentar dificultad en la descarga.

3.6.4. Colocación

Para la colocación de la mezcla de CCR se utiliza el mismo equipo que para mezclas asfálticas, sin embargo la maquina pavimentadora utilizada para la colocación de la

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

mezcla, debe estar provista de dispositivos especiales que proporcionen un alto grado de compactación a la misma. Londoño (1988)[15] señala que se deben incrementar los espesores de colocación del concreto entre un 15 % y un 25 % con respecto a los de diseño para obtener el espesor correcto cuando finalice el proceso de compactación.

Equipos para la Colocación

El extendido del concreto se puede realizar mediante motoniveladoras o pavimentadoras usadas para concreto asfáltico, aunque con algunas modificaciones.

Las motoniveladoras se pueden usar sobretodo en zonas con geometrías complejas, y tienen la ventaja de disponer de gran capacidad y extender el material sobre una superficie extensa sin la necesidad de juntas longitudinales. Sin embargo las regularidades superficiales no son muy altas, pero puede usarse en pavimentos que serán cubiertos por una capa de rodadura asfáltica.

En cuanto al empleo de las pavimentadoras son máquinas fáciles de conseguir y manejar. Con ellas se puede controlar tanto la pendiente como el bombeo y lograr superficies de mejor calidad. Adicionalmente garantizan un espesor uniforme con ritmos de colocación hasta 1,2 m/min.

Actualmente existen máquinas pavimentadoras⁷ adecuadas para la colocación del concreto compactado con rodillo. Estas máquinas tienen la capacidad de vibrar y compactar (a medida que riegan el concreto) hasta un 90 % de la densidad óptima, disminuyendo así la compactación con los rodillos y haciendo el sistema más rápido y económico.

Procedimiento de Colocación

El procedimiento de colocación del CCR debe planificarse de tal modo evitar las juntas frías. El concreto es colocado y compactado mientras todavía esta fresco y trabajable, usualmente dentro de los 45 a 90 minutos después de la adición de agua

⁷Respecto al empleo de maquinas pavimentadoras se presentó en el país de El Salvador, la tesis "Concreto Compactado con Pavimentadora como Alternativa de Pavimentación para la Red Vial de El Salvador", por Alvarado et al (2004)[4]

en la planta de mezclado, pero dependerá de las condiciones medioambientales (ACI 325.10R, 2001)[2].

3.6.5. Compactación

Luego de la colocación de la mezcla de CCR se procede inmediatamente a la compactación. Este proceso comprende de tres fases: La primera, una compactación con rodillo vibratorio, la segunda con un compactador de llantas lisas o neumático y la tercera con un rodillo liso (sin vibración) para darle mejor acabado. Seguidamente se explica los equipos y métodos de compactación, descritos en Londoño (1988)[15].

Equipos para la Compactación

Los equipos que se usan para la compactación del pavimento de CCR son los rodillos vibratorios lisos con un peso muerto de 9 a 11 toneladas y una carga estática lineal de 15 a 30 kN/m. También debe usarse un compactador neumático, de aproximadamente 20 toneladas, de llantas múltiples, con una presión de inflado apropiada. Se recomienda operar el equipo de vibrado a una velocidad menor de 3 km/h y funcionar con una amplitud alta y una baja frecuencia de vibración, de cumplir estos requisitos se asegura una buena compactación.

Métodos y Formas de Compactación

La compactación se inicia con el rodillo con los vibradores accionados, aunque el ACI 325.10R (2001)[2], indica que un patron común consiste en hacer dos pasadas con el rodillo estático (una ida y vuelta es igual a dos pasadas) en la superficie del concreto fresco para acentuar la superficie antes que comience el balanceo vibratorio. Las pasadas estáticas son seguidas de varias pasadas con los vibradores accionados hasta alcanzar por lo menos el 97% de la densidad del Proctor Modificado y el número de pasadas, usualmente supera las 4 pasadas (El cuadro 3.10 muestra el número de pasadas necesarias para alcanzar esta densidad con diferentes equipos y

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

espesores de capas). Es importante tener en cuenta que en esta etapa el rodillo no debe devolverse por el mismo carril, para evitar que se produzcan ahuellamientos.

La segunda etapa consiste en pasar el equipo con llantas neumáticas una o dos veces para que sellen todas las fisuras que quedan en la superficie después del vibrado y para asegurar un mejor acabado y calidad. Esta etapa se puede omitir cuando se va a cubrir la superficie con una capa asfáltica.

La etapa final puede lograrse con una o dos pasadas del rodillo en forma estática, primero hacia adelante y luego hacia atrás, sobre el mismo carril, para borrar las huellas dejadas por el equipo con llantas neumáticas.

Cuadro 3.10: Número de pasadas con los vibradores accionados y espesores máximos para diferentes equipos

Equipo de Compactación	Nº mínimo de pasadas	Espesor máximo (m)
Pisón vibratorio (mínimo 400 kg)	4	0.15
Rodillo vibratorio sencillo		
15 kN/m	6	0.15
25 kN/m	6	0.25
Rodillo vibratorio tándem		
10 kN/m	6	0.10
20 kN/m	4	0.15
30 kN/m	4	0.25

(Fuente: Londoño, 1988)[15]

En determinadas circunstancias se presentan problemas para alcanzar las densidades esperadas, esto se debe a los siguientes factores:

- Baja capacidad de soporte de la subrasante.
- Control deficiente en la humedad del Concreto Compactado con Rodillo.
- Demoras en empezar la etapa de compactación.
- Errores en los ensayos.

3.6. Construcción del Pavimento con CCR

- La ocurrencia de una descompactación debida a que el rodillo vibratorio esté funcionando con amplitudes de vibración más altas de lo debido.

Estos problemas se pueden evitar colocando el concreto sobre una subrasante o una subbase de buena calidad, utilizando retardadores de fraguado y rodillo con amplitud de vibración variable.

3.6.6. Juntas

Las juntas que se dan en los pavimentos de concreto compactado con rodillo son las mismas que para los de concreto convencional, pero con un tratamiento diferente debido a la menor retracción del concreto compactado.

Será importante definir los tipos de juntas⁸ en los pavimentos de CCR, ya que son aspectos críticos para la obtención de la suavidad y la densidad adecuada.

Juntas Transversales

Las juntas transversales o juntas de contracción, tienen por objeto controlar la fisuración aleatoria como resultado de la contracción, se deben cortar en aquellos pavimentos en que se busque una buena apariencia estética y no se vaya a recubrir posteriormente con una capa de concreto asfáltico. En caso contrario se puede permitir que se formen espontáneamente.

Los cortes de las juntas transversales deben realizarse dentro de las primeras 24 horas después de haber finalizado el compactado del CCR, aunque el ACI 325.10R (2001)[2], señala que se puede realizar dentro de las 48 horas, con un espaciamiento de 30 a 70 pies (9.1 a 21.3 m). La profundidad del corte esta en un rango de 1/4 a 1/3 del espesor del pavimento. Todas las juntas ya sean de fisuración aleatoria o juntas cortadas, se deben sellar para buscar la estanqueidad del pavimento.

⁸La información descrita en esta sección es un resumen de las referencias: Londoño (1988)[15], ACI 325.10R (2001)[2], Khalilzadeh (2012)[14], PCA (2004)[21]

Juntas Longitudinales

Las juntas longitudinales para pavimentos con CCR en vías con anchos no grandes (menor de 10m), no son necesarias siempre y cuando se puedan emprender las labores de construcción en todo el ancho de la vía. De no ser posible se debe evitar las juntas de construcción frías, empleando juntas frescas entre los carriles sucesivos de pavimentación cuando el intervalo de tiempo entre la colocación y compactación de los carriles es lo suficientemente corto como para permitir que los carriles se compacten juntas para formar una unión monolítica de los carriles. Este intervalo de tiempo es por lo general una hora, más o menos, dependiendo del viento, la temperatura y la humedad. Y dejando de compactar unas franjas de 0,30 a 0,40 m de ancho en el borde de los carriles adyacentes, para luego compactar simultáneamente las dos franjas. El esquema del proceso constructivo se indica en la figura 3.7.

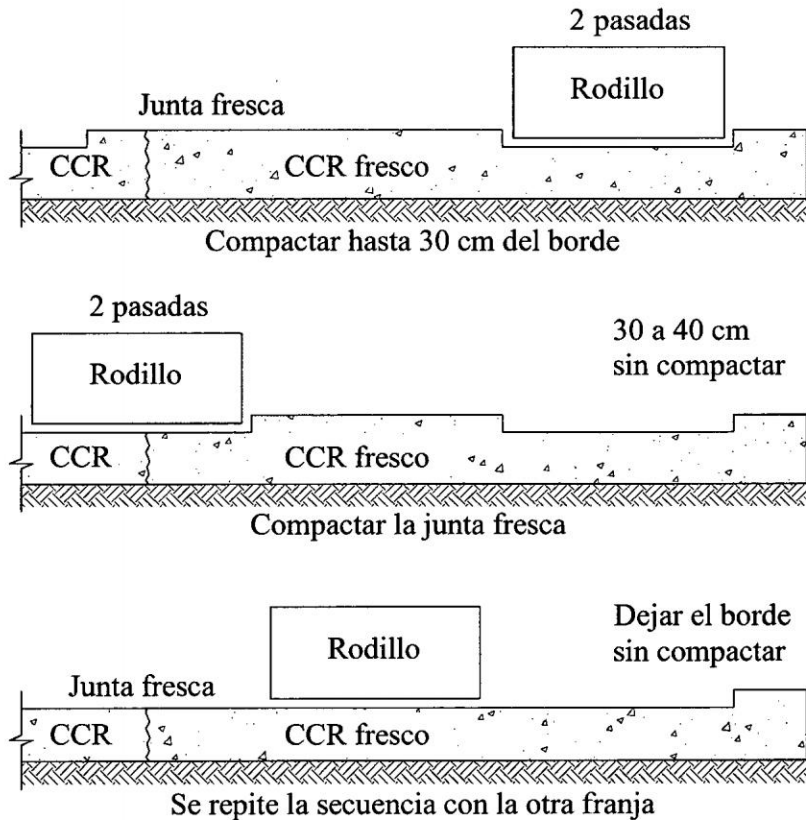


Figura 3.7: Construcción de juntas frescas. (Fuente: Londoño, 1988)[15]

Juntas Frías

Las juntas frías pueden ser longitudinales o transversales y se deben en principio a dos razones: La primera, a la interrupción en la construcción por fallas en el suministro del concreto o por la finalización de la jornada laboral y, la segunda, a las limitaciones del equipo constructivo.

Las juntas frías deben tener un plano vertical, el cual se obtiene cortando el concreto cuando aún se encuentra fresco con la ayuda de la cuchilla de la motoniveladora o puede ser, empleando una sierra de concreto, cuando la mezcla a endurecido. Al reiniciar la construcción se descarga el concreto a lo largo de la junta fría, con el sobreespesor necesario para lograr la altura de concreto compactado deseado según el diseño. Este sobreespesor es bueno colocarlo también en una franja de unos 8 cm de ancho sobre el concreto endurecido de la junta para, antes de permitir la circulación de los equipos compactadores, empujar el concreto hacia el concreto fresco con la ayuda de un rastro. Luego se hacen circular los compactadores a lo largo de la junta, con el rodillo montado 0,30 m sobre el concreto fresco (figura 3.8).

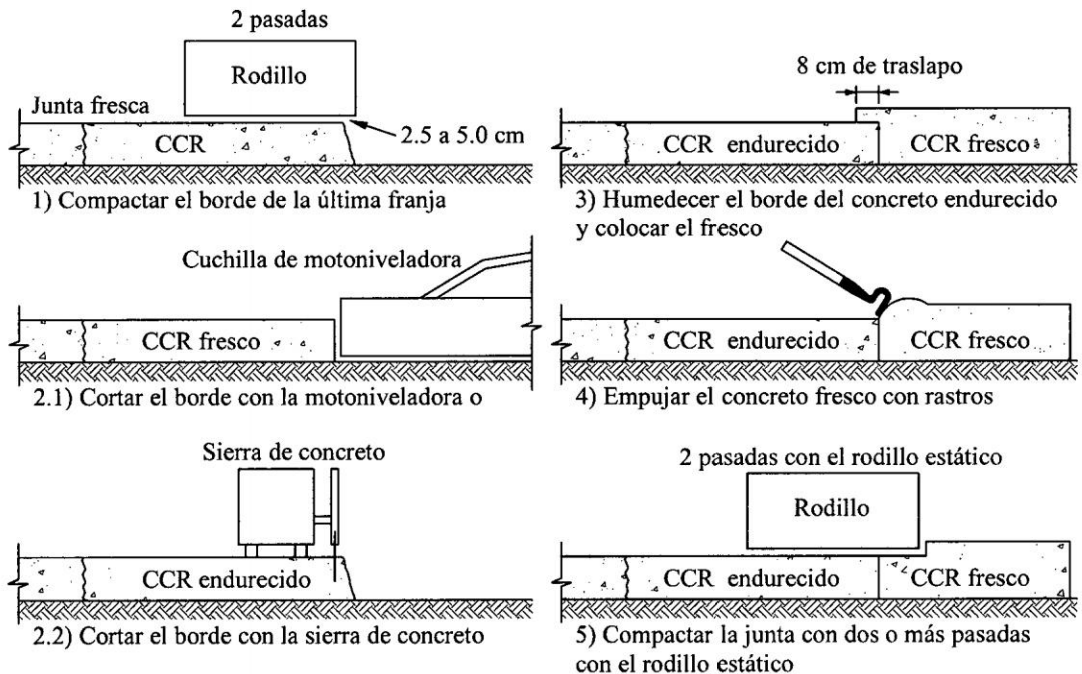


Figura 3.8: Construcción de juntas frías. (Fuente: Londoño (1988)[15], ACI 325.10R (2001)[2])

3.6.7. Curado y Protección

EL CCR tiene un bajo contenido de agua, es por eso que inmediatamente finalizado el proceso de compactación debe procederse con el curado con agua, empleando una capa de arena húmeda, mantas de algodón, costales, camiones regaderas o sistemas de atomización de agua, permitiendo que el concreto alcance las resistencias de diseño y ayude a prevenir la descomposición y el desmoronamiento de la superficie endurecido.

Generalmente el curado del CCR es por un periodo no menor de 7 días. El primer día se usa un camión cisterna equipado con una barra de pulverización (rocío fino) para mantener la superficie húmeda, después se puede usar un sistema de riego por aspersión (rocío más grueso), arpillera mojada, o el uso continuo del camión cisterna, para mantener la superficie húmedo durante el resto de periodo de curado.

Cuando se usan camiones cisterna para el curado, deben controlarse con cuidado y no permitir que realicen vueltas pronunciadas, para evitar que desgasten la superficie. Cuando el curado se realiza con membranas, estas tendrán las mismas prestaciones que las aplicadas al concreto convencional, pero en mayor proporción. La cantidad de compuesto curador puede ser de 1.5 a 2 veces la cantidad necesaria en un concreto convencional, esta dependiendo de la textura de la superficie (INCYC, 2012)[13].

3.6.8. Apertura al Tránsito

El ACI 325.10R (2001)[2], señala que todo el tráfico de vehículos, excepto para los camiones cisterna de agua por lo general se realiza a partir de un mínimo de 14 días. Una práctica común en Europa es permitir la apertura de un pavimento CCR después de 24 horas, por lo general después de la aplicación de un hormigón de asfalto o la extensión del producto de curado y la finalización el fraguado, pero para ello es preciso que el material compactado presente la estabilidad necesaria.

El INCYC (2012)[13], la apertura al tránsito puede realizarse entre 2 a 7 días después del proceso de colocación. Una buena regla para la apertura al tráfico es la de obtener

una resistencia de 2500 a 4000 psi.

3.6.9. Textura Superficial

El buen nivelado y la suavidad de la superficie dependen especialmente de la calidad y del tamaño máximo de los agregados, de la cantidad de finos y del equipo usado. La macrotextura de la superficie del concreto compactado con rodillo tiene la apariencia de un pavimento asfáltico.

En casos donde se tenga mayores exigencias de la textura superficial se puede usar una capa de concreto asfáltico o una pasada de una máquina cepilladora sería suficiente para obtener una regularidad superficial adecuada.

3.6.10. Control de Calidad

El control de calidad es una parte del proceso constructivo que debe tenerse en cuenta para el éxito del proyecto, ya que la construcción de pavimentos de concreto compactado con rodillo es una técnica relativamente nueva y no se cuenta con la experiencia que tienen los constructores en otro tipo de obras.

El control de calidad del concreto compactado con rodillo comprende dos fases: La primera es el control de calidad del material, que se realiza comprobando la humedad y la gradación de los agregados, asegurando que la planta esté bien calibrada y midiendo la densidad del concreto para comprobar el grado de compactación⁹, lo cual se realiza fabricando probetas para ensayos de resistencia y de densidad. La segunda es el control de la calidad final del pavimento que se lleva a cabo comprobando la uniformidad de la superficie terminada. Extrayendo núcleos y viguetas del pavimento para medir su resistencia y densidad, además del espesor final obtenido. (Londoño, 1988)[15]

⁹Para determinar el grado de compactación, preferiblemente deben usarse ensayos no destructivos, como el método nuclear.

Capítulo 4

Elaboración del Diseño de Mezcla CCR Para el Proyecto en Evaluación

4.1. Generalidades

Las características que deben poseer las mezclas de concreto compactado con rodillo (CCR) son la durabilidad, la resistencia, trabajabilidad y la facilidad de compactación. Si se satisfacen estas características se logrará un buen comportamiento del material y alcanzar los niveles deseados.

La filosofía empleada para el diseño de mezcla del CCR será los conceptos de compactación de los suelos, esta metodología implica establecer una relación óptima del contenido de humedad y densidad máxima de la mezcla de CCR (ASTM D 1557). El empleo de técnicas de compactación de los suelos permite que los ensayos se realicen de modo sencillo y rápido empleando equipos convencionales de laboratorio, además que pueden implementarse fácilmente para el control en campo.

La versatilidad y el relativamente bajo contenido de cemento del CCR, explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para los proyectos de pavimentación y los proyectos de construcción en donde sea factible aplicarlos.

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

La metodología seguida para el diseño de mezcla de CCR, con los conceptos de compactación de suelos, es como se presenta:

- Selección y análisis granulométrico de los agregados.
- Determinación de la relación granulométrica óptima de los agregados.
- Determinación de la humedad óptima y máxima densidad seca con los procedimientos del proctor modificado, variando los contenidos de cemento.
- Determinación de las proporciones de los componentes de mezcla por metro cúbico para los contenidos de cemento asumido.
- Determinación de la cantidad de golpes de compactación con una energía similar al proctor modificado, para luego elaborar los especímenes de evaluación.
- Selección de las proporciones de mezcla para la resistencia de diseño requerida.

4.2.1. Selección y Análisis Granulométrico de los Agregados

Selección de los Agregados

Los agregados a emplearse en el diseño de mezcla del concreto compactado con rodillo deberán cumplir con lo establecido en la norma ASTM C 33. Para el caso del presente trabajo se empleará los agregados de la cantera Muyurina. La elección de la cantera obedece a que este agregado está usándose en el proyecto Construcción de Pistas y Veredas en los AA. HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga, Ayacucho (en adelante nos referiremos como Proyecto Villa San Cristóbal).

En el cuadro 4.1, se muestra el resumen de las características físicas del agregado, obtenidas por distintos ensayos y los cuales reúnen los requerimientos de calidad de la norma ASTM C 33. Los resultados que se muestran fueron asumidos como verídicos y tomados del diseño de mezcla realizado para el proyecto.

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

Cuadro 4.1: Propiedades físicas del agregado usado en la investigación

Ensayos de Laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS) (ASTM C-29)	
Agregado Grueso	1386 kg/m ³
Agregado Fino	1636 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29)	
Agregado Grueso	1475 kg/m ³
Agregado Fino	1768 kg/m ³
Peso específico y Absorción del Agregado Grueso	
Peso específico	2.54
Absorción	1.97 %
Peso específico y Absorción del Agregado Fino	
Peso específico	2.42
Absorción	5.72 %
Contenido de Humedad	
Agregado Grueso	0.92 %
Agregado Fino	3.38 %

(Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal)

La absorción del agregado grueso no supera el límite permisible del 4 %, sin embargo la absorción del agregado fino esta por encima del límite, 5 %. El informe de canteras del diseño de mezcla del Proyecto Villa San Cristóbal, además señala que los agregados se clasifican en agregados de origen natural pero tratados. De acuerdo a su perfil las partículas del agregado grueso se pueden considerar como agregados de perfil angular.

Análisis Granulométrico de los Agregados

Se realizó el análisis granulométrico de los agregados usados en el Proyecto Villa San Cristóbal, lo ideal es que deben estar dentro de los límites especificados por norma ASTM C 33, para obtener la máxima densidad cuando el concreto sea compactado. En el cuadro 4.2 se presenta la granulometría obtenida para el agregado grueso, y en la figura 4.1 se presenta su respectiva curva granulométrica, donde se muestra que la curva para el agregado en estudio esta dentro de los límites establecidos por la ASTM C 33 y las Especificaciones Técnicas Generales del MTC (EG-MTC, 2013)[18].

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

Cuadro 4.2: Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	% Que Pasa	Especificación TMN 3/4 N°4	
1"	25.400	100.00	100	100
3/4"	19.050	93.32	90	100
1/2"	12.700	63.27		
3/8"	9.525	26.52	20	55
1/4"	6.350	5.92		
N° 4	4.760	3.86	0	10
N° 8	2.380	2.91	0	5
N° 10	2.000	2.71		
N°16	1.190	2.38		
N° 20	0.840	2.23		
N° 30	0.590	2.03		
N° 40	0.426	1.92		
N° 50	0.297	1.84		
N° 60	0.250	1.76		
N° 80	0.177	1.66		
N° 100	0.149	1.60		
N° 200	0.075	1.39		

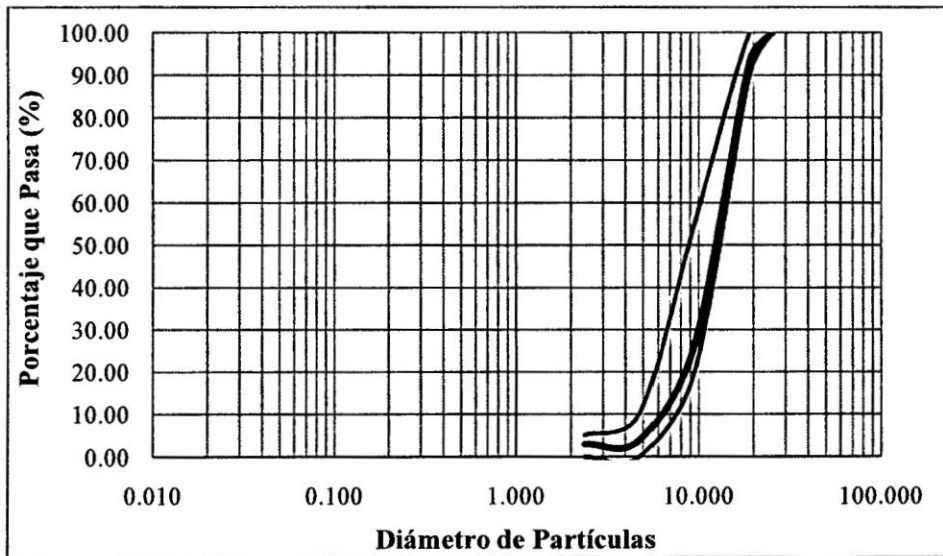


Figura 4.1: Curva Granulométrica del Agregado Grueso

Es preciso indicar que el ACI 325.10R (2001)[2] recomienda que el tamaño máximo nominal no debe superar los 3/4" (19.1 mm), el agregado para el estudio cumple con esta recomendación tal como se puede apreciar en cuadro 4.2 y se trata de un

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

agregado de roca triturada o piedra chancada como es denominado comúnmente.

La granulometría del agregado fino se presenta en el cuadro 4.3 y su representación gráfica de la curva granulométrica se presenta en la figura 4.2.

Cuadro 4.3: Granulometría del Agregado Fino

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	% Que Pasa	Especificación	
			Menor	Mayor
1/2"	12.700	100.00		
3/8"	9.525	99.45	100	100
1/4"	6.350	89.04		
N° 4	4.760	80.32	85	100
N° 8	2.380	57.78	65	100
N° 10	2.000	50.66		
N° 16	1.190	36.50	45	100
N° 20	0.840	30.39		
N° 30	0.590	20.32	25	80
N° 40	0.426	15.13		
N° 50	0.297	11.65	5	48
N° 60	0.250	9.33		
N° 80	0.177	6.51		
N° 100	0.149	5.83	0	12
N° 200	0.075	3.34		

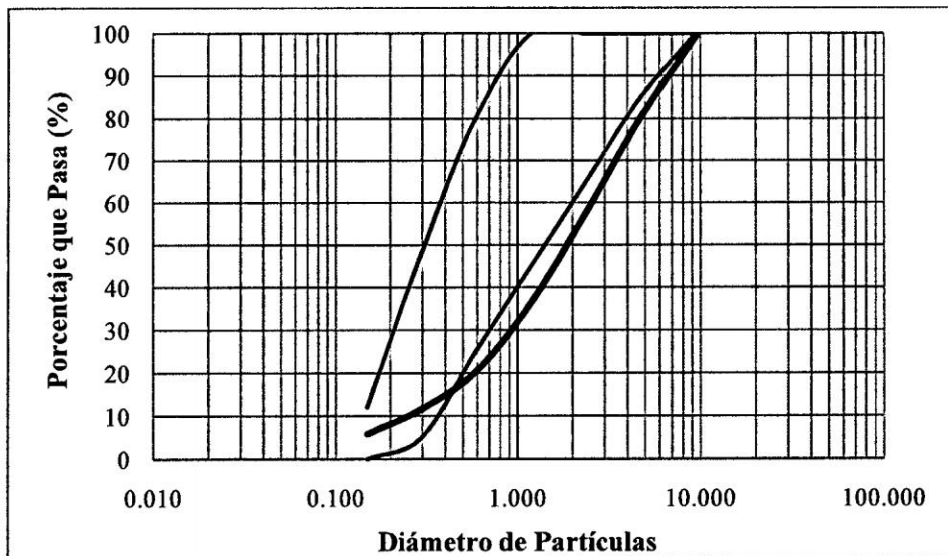


Figura 4.2: Curva Granulométrica del Agregado Fino

En la figura 4.2, la curva está fuera de los husos granulométricos mínimos especifi-

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

cados para un agregado fino, el rango de husos que se muestra pertenece al grupo M (arenas intermedias), también se puede apreciar que la arena en estudio contiene una mayor distribución de partículas gruesas, el desfase de límites se da en los tamices N° 4, N° 8, N° 16 y N°30. En el análisis granulométrico para el proyecto Villa San Cristóbal que se presenta, además se determinó que la fracción fina pasante por la malla N° 200 es de 3.3 %, esto nos indica que el porcentaje de finos supera el límite ligeramente. Este será el agregado que usaremos para el presente estudio, ya que esta cantera es usado en varios proyectos de la localidad y se trata del agregado que se viene empleando en el Proyecto San Cristóbal y será motivo de comparación.

4.2.2. Determinación Granulométrica Óptima

La necesidad de lograr una granulometría deseada, o que se encuentre dentro de entornos granulométricos establecidos, induce a las mezclas de dos o más agregados, de tal forma que el aporte de éstos en el total conformen una granulometría próxima a la buscada.

Cuando las partículas del agregado presentan un tamaño uniforme, el volumen de pasta es elevado, que se reduce cuando se utilizan distintos tamaños (distribución continua), o cuando se anula el tamaño máximo. Por lo que una buena distribución logrará trabajabilidad y economía.

Para la estimación de la combinación de la granulometría óptima, se utiliza el método analítico del módulo de fineza.

Método del módulo de fineza

El módulo de fineza expresa el grosor o finura del agregado y se define como el número que resulta de dividir por 100 la suma de porcentajes retenidos en forma acumulada en los 10 tamices de la serie normal (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100).

Para determinar la proporción de los agregados, el método del módulo de fineza

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

propone la solución de un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (4.2.1).

$$\begin{cases} x \times MF_1 + y \times MF_2 = MF_d \\ x + y = 1 \end{cases} \quad (4.2.1)$$

Donde:

MF_1, MF_2 = módulo de finza de los materiales.

MF_d = módulo de finza deseado.

Si tuvieran que combinarse tres tipos de agregado el método pierde efectividad, ya que se tendría tres incógnitas y solo dos ecuaciones.

El cuadro 4.4 muestra la granulometría de los agregados fino y grueso determinados, así como el rango granulométrico recomendado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para el concreto compactado con rodillo en los pavimentos, a partir de estos datos se busca determinar la combinación granulométrica del agregado fino y grueso que nos brinde la mayor densidad y menor relación de cemento.

Cuadro 4.4: Datos granulométricos de los agregados

Tamiz ASTM N°	% Que Pasa			
	Agregado Grueso	Agregado Fino	Cuerpo de Ingenieros L. Menor L. Mayor	
1"	100.00		100	100
3/4"	93.32		83	100
1/2"	63.27	100.00	72	93
3/8"	26.52	99.45	66	85
1/4"	5.92	89.04		
N° 4	3.86	80.32	51	69
N° 8	2.91	57.78	38	56
N° 10	2.71	50.66		
N°16	2.38	36.50	28	46
N° 20	2.23	30.39		
N° 30	2.03	20.32	18	36
N° 40	1.92	15.13		
N° 50	1.84	11.65	11	27
N° 60	1.76	9.33		
N° 80	1.66	6.51		
N° 100	1.60	5.83	8	20
N° 200	1.39	3.34	2	8

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

El módulo de fineza del agregado grueso resulta de 6.66, para el agregado fino de 3.88 y para el rango granulométrico del cuerpo de ingenieros, limite menor de 4.97 y limite mayor de 3.61, se asume el promedio del módulo de fineza del límite menor y mayor que viene a ser 4.29, que representa la curva intermedia del rango, y reemplazando en la sistema de ecuaciones 4.2.1.

$$\begin{cases} x \times 6,66 + y \times 3,88 = 4,29 \\ x + y = 1 \end{cases}$$

Resulta que $x = 0,15$ (A. Grueso) e $y = 0,85$ (A. Fino).

Con los resultados obtenidos para x e y se calcula la distribución granulométrica, considerando una proporción de 15% de agregado grueso y 85% de agregado fino (Cuadro 4.5), sin embargo se aprecia que la distribución granulométrica estimada no cumple con el huso del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos presentado en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.5: Distribución granulométrica obtenida con el módulo de fineza

Tamiz ASTM N°	Agregados		% Que Pasa Proporción		Granulometría Calculada
	AG	AF	0.15xAG	0.85xAF	
1"	100.00	100.00	15.00	85.00	100.00
3/4"	93.32	100.00	14.00	85.00	99.00
1/2"	63.27	100.00	9.49	85.00	94.49
3/8"	26.52	99.45	3.98	84.53	88.51
1/4"	5.92	89.04	0.89	75.69	76.57
N° 4	3.86	80.32	0.58	68.27	68.85
N° 8	2.91	57.78	0.44	49.11	49.55
N° 10	2.71	50.66	0.41	43.06	43.47
N°16	2.38	36.50	0.36	31.03	31.38
N° 20	2.23	30.39	0.33	25.83	26.17
N° 30	2.03	20.32	0.30	17.27	17.57
N° 40	1.92	15.13	0.29	12.86	13.15
N° 50	1.84	11.65	0.28	9.90	10.18
N° 60	1.76	9.33	0.26	7.93	8.19
N° 80	1.66	6.51	0.25	5.53	5.78
N° 100	1.60	5.83	0.24	4.95	5.19
N° 200	1.39	3.34	0.21	2.83	3.04

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

Esto nos lleva a iterar y buscar otras relaciones del agregado fino y grueso que mejoren la distribución granulométrica del agregado, cuyo resumen se muestra en el cuadro 4.6 y la representación gráfica en la figura 4.3.

Cuadro 4.6: Resumen de relaciones granulométricas del agregado fino y grueso

Tamiz ASTM N°	Cuerpo de Ingenieros		% Que Pasa				
	L. Menor	L. Mayor	0.15AG+ 0.85AF	0.20AG+ 0.80AF	0.25AG+ 0.75AF	0.30AG+ 0.70AF	0.35AG+ 0.65AF
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	83.00	100.00	99.00	98.66	98.33	98.00	97.66
1/2"	72.00	93.00	94.49	92.65	90.82	88.98	87.15
3/8"	66.00	85.00	88.51	84.86	81.22	77.57	73.92
1/4"			76.57	72.42	68.26	64.11	59.95
N° 4	51.00	69.00	68.85	65.03	61.20	57.38	53.56
N° 8	38.00	56.00	49.55	46.81	44.06	41.32	38.58
N° 10			43.47	41.07	38.67	36.27	33.88
N° 16	28.00	46.00	31.38	29.68	27.97	26.27	24.56
N° 20			26.17	24.76	23.35	21.94	20.54
N° 30	18.00	36.00	17.57	16.66	15.74	14.83	13.92
N° 40			13.15	12.49	11.83	11.17	10.51
N° 50	11.00	27.00	10.18	9.69	9.20	8.70	8.21
N° 60			8.19	7.81	7.43	7.06	6.68
N° 80			5.78	5.54	5.30	5.05	4.81
N° 100	8.00	20.00	5.19	4.98	4.77	4.56	4.35
N° 200	2.00	8.00	3.04	2.95	2.85	2.75	2.65

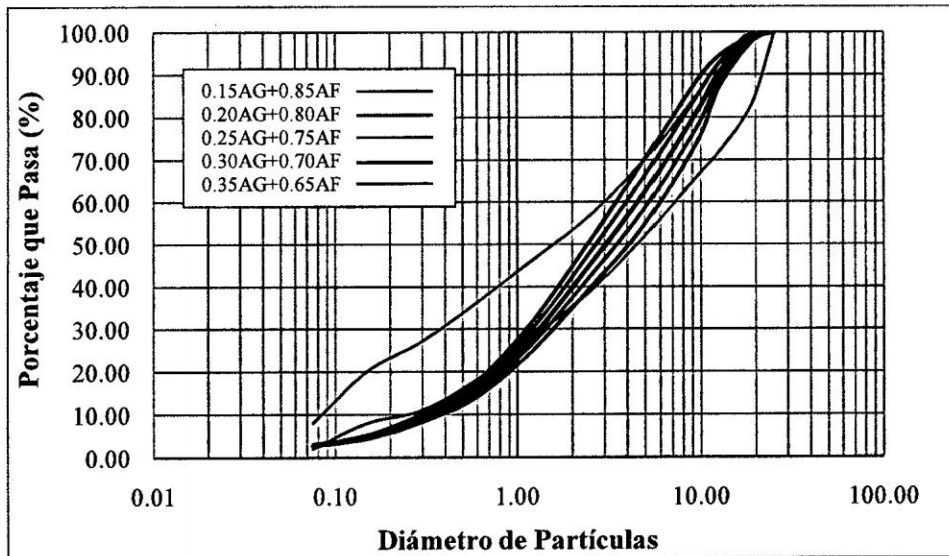


Figura 4.3: Curvas granulométricas de relaciones agregado fino y grueso

De las curvas granulométricas mostradas en la figura 4.3, se aprecia que todas las relaciones de los agregados no cumplen con el límite menor del huso del cuerpo de

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

ingenieros, esto indica que hay una deficiencia de material fina, que se atribuye a la granulometría que presenta el agregado fino, sin embargo la que mejor distribución presenta y se asume como válida para la mezcla, es la relación de 25 % de agregado grueso y 75 % de agregado fino.

4.2.3. Determinación del Contenido de Humedad

El contenido de agua para el cual se obtiene el peso específico seco máximo se llama contenido de agua óptimo y se encuentra realizando ensayos de humedad contra densidad, para el cual se empleará la prueba proctor modificada (ASTM D-1557), con la relación de agregados encontrada y variando el contenido de humedad hasta hallar la que permite obtener la máxima densidad posible.

Para la aplicación de la prueba proctor modificada, se coloca la muestra con un contenido de agua seleccionado, en cinco capas, en un molde de dimensiones dadas y cada capa se compacta con un determinada cantidad de golpes de un martillo que se deja caer desde cierta altura, proporcionándole un esfuerzo de compactación. Se determina el peso unitario resultante y se repite el procedimiento para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el contenido de agua para el suelo y el peso unitario seco. Al graficar estos datos resulta una curva de compactación, de donde se puede calcular el óptimo contenido de humedad (OCH), relacionada a la máxima densidad seca (MDS). El método a usar del proctor modificada es el C, y cumple las siguientes especificaciones:

- Molde: 152.4 mm (6") de diámetro.
- Peso del pizón: 10 lb (4.54 kg).
- Altura de caída del pizón: 18 pulg (457.2 mm).
- Energía de compactación: 2700 kN m/m³.
- Material: pasa el tamiz de 19 mm (3/4").

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

- Número de capas: 5.
- Número de golpes por capa: 56.
- Uso: debe seguirse si más del 20 % por peso del material queda retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8") y menos del 30 % por peso del material queda retenido sobre el tamiz de 19 mm (3/4").

Para las muestras a emplearse en los ensayos de compactación, adicional a la relación de agregados y el contenido de humedad, se incluirá un porcentaje de cemento¹ (12 %, 14 %, 16 % del peso seco), que se encuentra dentro del rango que establece el ACI325.10R (2001)[2] (10 % al 17 %). Los cálculos de la humedad, el peso unitario húmedo y seco (densidad), se encuentran con las ecuaciones 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4.

$$\%W = \frac{M_H - M_S}{M_S} \times 100 \quad (4.2.2)$$

Donde:

W = Contenido de agua.

M_H = Peso de la muestra húmeda.

M_S = Peso de la muestra seca.

$$\rho_H = \frac{M_H}{V} \quad (4.2.3)$$

Donde:

ρ_H = Densidad húmeda del espécimen compactado.

V = Volumen del molde de compactación.

$$\rho_S = \frac{\rho_H}{1 + \frac{\%W}{100}} \quad (4.2.4)$$

Donde:

ρ_S = Densidad seca del espécimen compactado.

¹El tipo de cemento a emplearse en los ensayos, es el mismo que se uso en el proyecto, Tipo I (Andino)

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

Los resultados obtenidos en los ensayos de Proctor Modificados realizados para cada una de las mezclas, con las diferentes proporciones de cemento, se muestra en el Cuadro 4.7 y en la Figura 4.4.

Cuadro 4.7: Resultados de los ensayos Proctor Modificado (ASTM D 1557)

Proctor	Cemento (%)	OCH (%)	MDS (gr/cm ³)
1	12	6.10	2.144
2	14	7.00	2.170
3	16	7.10	2.182

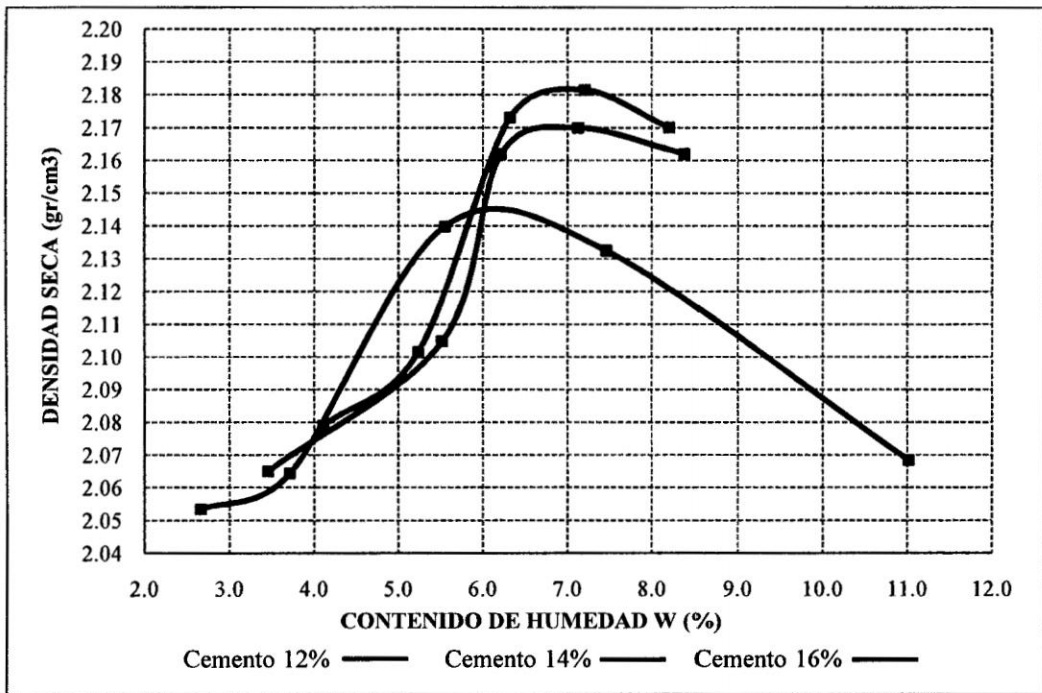


Figura 4.4: Curvas de los ensayos Proctor Modificado para las relaciones de agregados, humedad y porcentajes de cemento.

Para los ensayos Proctor Modificado con las relaciones de cemento del 14 % y 16 %, se ajusto la variación del contenido de humedad en función a los resultado obtenidos con una proporción de cemento del 12 %, esto con la intención de aproximarnos mejor al óptimo contenido de humedad, que nos de la máxima densidad seca. En la figura 4.4, se aprecia que las curvas con las proporciones de cemento del 14 % y 16 % alcanzan una mayor densidad seca, esto puede deberse a que los espacios vacíos

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

son cubiertos por las partículas del cemento; además hay un incremento de 1 % del OCH, que estaría vinculado a la hidratación del cemento.

4.2.4. Determinación de la Proporción de los Componentes de la Mezcla

Se ha determinado la relación de agregado fino y grueso (0.75AF+0.25AG), así como el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, con estos parámetros se puede estimar la proporción de los componentes para un volumen dado, como sigue:

La máxima densidad seca es igual al peso seco de la muestra sobre el volumen ($MDS = M_S/V$), el MDS se conoce de los ensayos Proctor modificado, M_S es la adición del peso seco de los agregados y el cemento, y el volumen es la cantidad para el cual queremos determinar la proporción de componentes.

De las ecuaciones 4.2.5 y 4.2.6.

$$M_N = M_S(1 + W_N/100) \quad (4.2.5)$$

$$M_{OCH} = M_S(1 + W_{OCH}/100) \quad (4.2.6)$$

Donde:

M_N = Peso de la muestra de los agregados con su contenido de humedad natural más el cemento.

M_S = Peso de los agregados secos más el contenido de cemento.

W_N = Porcentaje de humedad del agregado natural más el cemento.

M_{OCH} = Peso de la muestra con el óptimo contenido de humedad.

W_{OCH} = Porcentaje del óptimo contenido de humedad.

Se calcula el peso de agua (M_A) a agregar al volumen de concreto compactado con rodillo para alcanzar su máxima densidad seca con la diferencia de M_{OCH} y M_N .

El peso de los agregados y cemento se calcula con la ecuación 4.2.7.

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

$$M_S = M_{SAG} + M_C \quad (4.2.7)$$

Donde:

M_{SAG} = Peso seco de los agregados.

M_C = Peso del cemento.

El peso del cemento es un porcentaje del peso seco de los agregados, para nuestro caso será de 12 %, 14 % y 16 %.

Para el agregado se calculó su peso seco, sin embargo, es preciso hacer la corrección con la humedad que presenta, para ello se usa la ecuación 4.2.8.

$$M_{HAG} = M_{SAG}(1 + W_{AG}/100) \quad (4.2.8)$$

Donde:

M_{HAG} = Peso del agregado natural.

W_{AG} = Porcentaje de humedad del agregado natural.

Siguiendo los pasos anteriormente descritos se obtuvo las variables que condicionan el diseño de mezclas CCR para un volumen de 1 m^3 , con las proporciones de cemento establecidos. El resumen de estas cantidades es presentado en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8: Factores y Cantidades de materiales por m^3 de mezcla CCR

Propiedades y Proporciones	Unidad	Contenido de Cemento		
		12 %	14 %	16 %
M_{DS}	gr/cm^3	2.144	2.170	2.182
W_{OCH}	%	6.10	7.00	7.10
W_N	%	1.78	1.70	1.40
W_{AG}	%	1.84	1.84	1.84
M_A	Kg	92.62	115.01	124.37
M_C	Kg	229.72	266.49	300.97
M_{SAG}	Kg	1914.28	1903.51	1881.03
M_{HAG}	Kg	1949.50	1938.53	1915.64

De los ensayos y cálculos, las proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales secos y corregidos por humedad, son de:

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

Cuadro 4.9: Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales secos.

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO						
Contenido Cemento	Cemento (kg)	Cemento (bls)	Agregado Fino (kg)(*)	Agregado Grueso (kg)(*)	Agua (**) (Lt)	Total (kg/m3)
12 %	229.72	5.41	1435.71	478.57	116.77	2266.18
14 %	266.49	6.27	1427.63	475.88	133.25	2309.52
16 %	300.97	7.08	1410.77	470.26	133.55	2322.63

(*) Se estimó con la relación $0.75AF+0.25AG$

(**) Se determinó con la ecuación 4.2.2 donde el porcentaje de humedad es W_{OCH}

Cuadro 4.10: Dosificación en peso seco.

DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA)					
Contenido Cemento	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)	Relación a/c diseño
12 %	1.00	6.25	2.08	21.60	0.51
14 %	1.00	5.36	1.79	21.25	0.50
16 %	1.00	4.69	1.56	18.86	0.44

Cuadro 4.11: Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales húmedos.

RESUMEN DE MATERIALES HÚMEDOS POR M3 DE CONCRETO						
Contenido Cemento	Cemento (kg)	Cemento (bls)	Agregado Fino (kg)(*)	Agregado Grueso (kg)(*)	Agua (M_A) (Lt)	Total (kg/m3)
12 %	229.72	5.41	1462.13	487.38	92.62	2277.25
14 %	266.49	6.27	1453.90	484.63	115.01	2326.30
16 %	300.97	7.08	1436.73	478.91	124.37	2348.06

(*) Se estimó con la relación $0.75AF+0.25AG$

Cuadro 4.12: Dosificación en peso húmedo.

DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO (C:AF:AG:AGUA)					
Contenido Cemento	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)	Relación a/c efectiva
12 %	1.00	6.36	2.12	17.14	0.40
14 %	1.00	5.46	1.82	18.34	0.43
16 %	1.00	4.77	1.59	17.56	0.41

4.2.5. Determinación de la Cantidad de Golpes de Compactación

Con las proporciones de material ya definidas para las diversas mezclas de concreto compactado con rodillo y siguiendo el procedimiento del proctor modificado, se procedió a estimar la cantidad de golpes necesario para lograr la compactación que nos brinde la máxima densidad seca en la elaboración de probetas² para evaluar su resistencia a la compresión.

Se determinó la cantidad de golpes necesarias para alcanzar una energía de compactación similar al ensayo proctor modificado ($2700 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3$) con la ecuación 4.2.9, asumiendo que el proceso de compactación se realizará en 6 capas, el peso y la altura de caída del pisón son los mismos que del proctor modificado y el volumen será el de la probeta, con un diámetro de 6 pulgadas por una altura de 12 pulgadas, como lo especifica la ASTM C 31.

$$Ec = \frac{N \times n \times W \times H}{V} \quad (4.2.9)$$

Donde:

Ec = Energía de compactación.

N = Número de golpes por capa.

n = Número de capas.

W = Peso del pisón.

H = Altura de caída del pisón.

V = Volumen del suelo compactado.

De la ecuación 4.2.9 se obtuvo que la cantidad de golpes necesaria para alcanzar un esfuerzo de compactación similar al del proctor modificado fue de 122 golpes. Se empezó a hacer pruebas, con el número de golpes determinado y con un peso de la muestra que representa máxima densidad seca y que fue calculado siguiendo los

²Escalaya (2006, p. 20-28)[10], aborda sobre los métodos básicos de compactación para la preparación de especímenes.

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

procedimientos de la sección anterior para el volumen de la probeta. En las pruebas se observó que la cantidad de golpes estimada, compactaba el 100 % de la muestra para MDS, además de fracturar los elementos del agregado grueso, por lo que se tuvo que reducir la cantidad de golpes y seguir ensayando hasta determinar que la que brinda mejores resultados es 90 golpes por capa.

4.2.6. Preparación de Especímenes Para Ensayos de Resistencia a Compresión

Ésta describe la elaboración de especímenes cilíndricos de concreto (Probetas) de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura, para evaluar las proporciones de mezcla y su resistencia a la compresión. Los moldes empleados son los mismos que para el concreto convencional, con la incorporación de un collar en la parte superior del molde que permita la compactación de la última capa y la nivelación de la superficie después de haber sido compactado.

La dosificación de los componentes de la mezcla se realizó por peso y se preparó independientemente para cada uno de los moldes, ya que el método de compactación a emplear es por impacto (Proctor modificado) y no se tenga tiempos prolongados de espera de la mezcla en ser aplicados.

El equipo de compactación empleado es el mismo que para el proctor modificado (ASTM D - 1557, método C) con peso del pisón de 4.5 kg y una altura de caída del pisón de 45 cm. Se asume 6 como número de capas, por relación directa con el molde del proctor (el doble de altura de la capa del proctor) y la cantidad de golpes a emplear es de 90 por capa.

Curado de los Especímenes: Finalizado la elaboración de las probetas, se cubre la parte superior con bolsas plásticas, con la intención de regular la pérdida de humedad. Después de 24 ± 5 horas de elaboradas las probetas se procedió a desmoldarlos y colocarlos en un tanque de almacenamiento de agua con temperatura controlada, puesto que los especímenes deben ser curados a una temperatura de 23 ± 2 °C desde

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla CCR

el molde hasta el momento de la prueba de los mismos.

4.2.7. Selección de Proporción de Mezcla

La selección de proporción de una mezcla esta basado en la resistencia de compresión lograda y la resistencia de diseño requerida. Los resultados de resistencia logrados pueden ser representados en curvas en función de la edad de curado variando el contenido de cemento, una regla práctica será que el contenido de cemento se encuentre dentro del rango establecido por ACI325.10R (2001)[2] (10 % - 17 %), el contenido de cemento será seleccionado en función de la resistencia de diseño requerida.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, son mostrados en el cuadro 4.13. De donde se hará la elección de la proporción de mezclas basado en la resistencia de diseño requerida.

Cuadro 4.13: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Nº	Tipo de Muestra	Edad (Días)	Peso Unitario (tn/m3)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Kg / cm2)	R. Promedio (Kg / cm2)
1	C. cemento 12 %	7	2.35	22.53	229.72	222
2	C. cemento 12 %	7	2.32	21.04	214.54	
3	C. cemento 12 %	28	2.32	25.87	264.09	265
4	C. cemento 12 %	28	2.36	25.95	265.10	
5	C. cemento 14 %	7	2.33	23.49	240.22	251
6	C. cemento 14 %	7	2.37	25.54	261.46	
7	C. cemento 14 %	28	2.34	35.52	363.99	361
8	C. cemento 14 %	28	2.36	34.84	357.41	
9	C. cemento 16 %	7	2.37	26.65	273.69	270
10	C. cemento 16 %	7	2.33	25.98	267.06	
11	C. cemento 16 %	28	2.34	37.24	383.20	386
12	C. cemento 16 %	28	2.33	37.68	388.03	

Capítulo 5

Aplicación Práctica a un Proyecto Local y Propuesta con CCR

5.1. Generalidades

En la actualidad el concreto compactado con rodillo es aplicado en dos áreas: presas y pavimentos. El presente estudio solo se ocupará del segundo, pavimentos, y será evaluado en el proyecto denominado “Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho”, denominado por simplicidad como “Proyecto Villa San Cristóbal”, gestionado por la municipalidad distrital de Jesús Nazareno y que al mes de setiembre del presente año se encuentra en su etapa final de ejecución. Las calles a intervenir con el proyecto son: jr. Abraham Valdelomar, jr. Los Rosales, jr. Los Lirios, jr. San Cristóbal, calle Primavera, calle Las Palmeras, jr. Víctor Acuña, jr. Santa Rosa, jr. Bastidas, jr. Medellín, jr. Gutiérrez, jr. La Mar, jr. Los Cabuyales, jr. Panamá, jr. Garcilaso, jr. Alegría y calle 03.

Es importante señalar que la topografía de algunas calles del proyecto impediría la aplicación del concreto compactado con rodillo como capa de rodadura del pavimento de esas calles por las pendientes muy elevadas que presentan, que sería una limitante por los procesos constructivos del CCR e incluso es un desafío para la

realidad actual del proyecto.

Pese a la observación hecha, se considera el Proyecto Villa San Cristóbal como caso de aplicación por la accesibilidad a la información que brinda el contratista y la necesidad que el CCR sea evaluado con los materiales que se disponen en la localidad.

5.2. Proyecto Villa San Cristóbal

5.2.1. Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Jesús Nazareno, en los lugares de los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz.

En la figura 5.1 se muestra las inmediaciones del proyecto.



Figura 5.1: Imagen satelital de la ubicación del proyecto

5.2.2. Características del Proyecto

El proyecto consiste en la construcción de pistas y veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz y tiene como objetivos mejorar la calidad de vida de los pobladores que habitan en el entorno del proyecto, reducir los costos de operación y mantenimiento de la vía y vehicular, reducir los tiempos de transporte y la contaminación ambiental por emisiones de partículas suspendidas.

El proyecto comprende el corte de material de subrasante, el relleno con material propio seleccionado en tramos necesarios, la eliminación de material excedente y realizar la conformación de la subrasante, seguidamente la conformación y colocación de la sub base con un espesor de 0.20 m, luego dar pase a la construcción de sardineles, cunetas y la construcción de la capa de rodadura de concreto con espesor de 0.20 m y una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Se tendrá también la construcción de veredas para peatones con anchos adecuados y rampas para el acceso de las personas con discapacidad.

La modalidad de ejecución es por contrata e implica la colocación de 15137.09 m^2 de pavimento rígido (concreto hidráulico), con anchos de calle que tienen 3.00 m, 5.5 m, 5.70 m, 6.00 m, 6.50 m.

5.2.3. Diseño Estructural del Pavimento del Proyecto

La descripción de las funciones así como los factores que afectan el diseño de los pavimentos y el enfoque a seguir en el diseño de los pavimentos se abordó en el capítulo 2. En esta sección se presenta un resumen del diseño estructural del pavimento, que forma parte del expediente técnico del Proyecto Villa San Cristóbal.

Características de la Subrasante

Para determinar las características de la subrasante se elaboraron 19 calicatas y 03 exploraciones a cielo abierto, como indica el estudio de suelo realizado, el resumen de los resultados obtenidos se muestra a continuación.

Cuadro 5.1: Clasificación de material de la subrasante

Muestra	AASHTO	SUCS	Nombre de Grupo
Jr. Los Cabuyales	A-1-a	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	A-2-4	SC-SM	Arena limo - arcillosa
Jr. San Cristóbal - Calle las Palmeras	A-2-4	SP	Arena mal graduada con grava
Jr. Cabuyales - Jr. Panamá	A-1-a	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
Prolg. Los Incas - Jr. Medellín	A-6	CL	Arcilla ligera arenosa
Prolg. Los Incas - Jr. La Mar	A-2-4	SM	Arena limosa con grava

Cuadro 5.2: Ensayo Proctor Modificado

Exploración	Estrato	AASHTO	SUCS	Máx. Densidad seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de humedad (%)
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	Subrasante	A-2-4	SC - SM	1.65	15.0
Jr. San Cristóbal - calle las palmeras	Subrasante	A-2-4	SP	1.85	12.3

Cuadro 5.3: Ensayo de CBR de laboratorio

Muestra	CBR (%) Diseño
Jr. Los Cabuyales	16.9
Jr. Gutiérrez - Jr. La Mar	7
Jr. Víctor Acuña - Jr. Medellín	25.8
Jr. Víctor Acuña - Jr. Santa Rosa	29.7
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	11.1
Jr. Los Rosales - Calle 03	19.2

Las características de los suelos que indican la calidad de la subrasante se muestra en el cuadro 5.4.

Cuadro 5.4: Características del CBR

Categoría	Rango	Descripción
S0	CBR < 3 %	Subrasante muy pobre
S1	CBR = 3 - 5 %	Subrasante pobre
S2	CBR = 6 - 10 %	Subrasante regular
S3	CBR = 11 - 19 %	Subrasante buena
S4	CBR > 20 %	Subrasante muy buena

De las conclusiones establecidas en el estudio de suelos, es necesario realizar mejoramientos a nivel de la subrasante en diversos sectores del proyecto, debido a la presencia de rellenos antrópicos no controlados. Este mejoramiento se hará en las calles que muestra el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5: Reemplazo de subrasante con material clasificado

Calle	Longitud	Profundidad
Jr. A. Valdelomar	51.03	0.40
Jr. Los Rosales	130.50	0.40 - 0.60
Jr. Los Lirios	169.23	0.40
Jr. Víctor Acuña	459.06	0.20
Jr. Santa Rosa	89.16	0.20

Luego de haberse estabilizado los tramos y obtenido una subrasante totalmente conformada y compactada según los requisitos exigidos, se procederá a la colocación de la sub base granular en el espesor que se determine.

Determinación del Tráfico del Proyecto

La estimación del volumen de tráfico que servirá para calcular el índice medio diario (IMD), se realiza en base a los objetivos del proyecto y los antecedentes existentes. El índice medio diario asumido para el cálculo y diseño del pavimento rígido se fundamenta en el flujo vehicular existente en el jr. Los Cabuyales, teniendo en consideración la cercanía y conectividad de las vías en estudio con la vía de evitamiento

norte que se dirige al terrapuerto de la ciudad.

De la clasificación establecida por el MTC, se dice que son vehículos menores cuando tienen hasta 04 ruedas y son mayores cuando tienen de 06 ruedas a más. Estos últimos son los que tienen mayor incidencia en el diseño de espesor del pavimento, según recomiendan el AASHTO y PCA.

El conteo de campo se realizó en cada hora desde las 5:00 am hasta las 9:00 pm, horas en que se produce el tráfico crítico. Además se proyectó un porcentaje adicional para las horas nocturnas, con la finalidad de tener el registro total diario. En el cuadro 5.6 se muestra el resultado del conteo vehicular.

Cuadro 5.6: Conteo vehicular por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automóvil	9	30.00
Camioneta	6	20.00
Camioneta Rural	2	6.67
Micro B2	9	30.00
Bus Grande B3-1	0	0.00
Camión 2E	3	10.00
Camión 3E	1	3.33
IMD	30	100.00

Una vez estimado el volumen del tránsito se procederá a calcular los demás parámetros que permitan determinar el ESAL de diseño, el procedimiento a seguir fue descrito en el en la sección 2.3.1 del capítulo 2.

Estimación del ESAL de diseño o Ejes Equivalentes

Siguiendo lo señalado en la sección anterior se determinó el ESAL de diseño, con las ecuaciones 5.2.1 y 5.2.1.

$$ESAL_{Diseño} = \sum (ESAL_{día-carril} \times Fca \times 365) \quad (5.2.1)$$

$$ESAL_{día-carril} = IMD \times Fd \times Fc \times FC \quad (5.2.2)$$

Donde:

$ESAL_{Diseño}$ = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Tn.

$ESAL_{día-carril}$ = Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño.

Fca = Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

IMD = Índice medio diario inicial según el vehículo pesado seleccionado.

Fd = Factor direccional.

Fc = Factor carril de diseño.

FC = Factor camión.

El resultado del cálculo se muestra en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7: Resumen del calculo del ESAL de diseño

Clasificación Vehicular	IMD*	% Tasa de Crecimiento	ESAL año (20)	ESAL año (20) F dist. Carril (1.00)
Automóvil	A	12	1.48	72.78
Station Wagon	SW	0	1.48	0
Camioneta	C	8	1.48	50.73
Panel	P	0	1.48	0
Camioneta Rural	CR	2	1.48	196.55
Bus 2 ejes	B2	13	7.46	588,224.33
Bus 3 ejes	B3	0	7.46	0
Camión 2 ejes	C2	3	7.46	160,424.82
Camión 3 ejes (tandem)	C3	1	7.46	24,750.69
TOTAL	39		773719.90	4.26E+05

(*) El IMD incluye 15 % de tráfico generado

Diseño de Espesor del Pavimento

El diseño de espesor del pavimento del Proyecto Villa San Cristóbal se realizó siguiendo la filosofía propuesta por el AASHTO en la guía para el diseño estructural de pavimentos, dicho método de diseño fue presentado y discutido en la sección 3.5 del capítulo 3. Del cálculo realizado se estimó que para el proyecto corresponde un espesor de 7.60" (19.304 cm), para adaptarse mejor al proceso constructivo se eligió el valor de 20.00 cm.

El espesor del pavimento fue diseñado para una resistencia a la compresión de concreto ($f'c$) de 210 kg/cm^2 , sin embargo el AASHTO recomienda una resistencia mínima

a la flexotracción del concreto (Módulo de Rotura) de 40 kg/cm^2 , que equivale a un $f'c$ de 280 kg/cm^2 . Para calles con bajos volúmenes de tránsito podría resultar lo propuesto en el proyecto de aplicación.

5.2.4. Diseño de Mezcla del Proyecto en Aplicación

El diseño de mezcla consignado en el expediente técnico del Proyecto Villa San Cristóbal se trabajó con la cantera Chanchara, que se encuentra ubicado en la localidad de Compañía. Sin embargo para la ejecución, el contratista optó por un cantera diferente, Muyurina, para el cual realizó un nuevo estudio de diseño de mezcla.

Del nuevo estudio de diseño de mezcla de concreto realizado para la ejecución del Proyecto Villa San Cristóbal, anexo en la presente investigación, se rescata las siguientes conclusiones.

- El agregado grueso presenta una granulometría no uniforme puesto que no cumple con los límites inferiores, deficiencia de partículas menos gruesas, el tamaño máximo es de $1 \frac{1}{2}$ ", siendo el tamaño máximo nominal de 1 " y se clasifica como grava mal graduada (GP). EL agregado fino (Arena), la muestra corresponde a arenas bien graduadas SW, del análisis de la arena se puede observar que este cumple con la gradación de las arenas de nuestra norma (límites extremos), se encuentra ligeramente fuera del Huso C que es el más recomendado para elaborar concretos con cemento Portland.
- Para la mezcla de concreto se recomienda una consistencia plástica de 3 " a 4 " medida con el cono de Abrams, teniendo en cuenta una adecuada compactación mecánica.
- El diseño de mezcla calculado se presenta a continuación en los cuadros 5.8, 5.9 y 5.10, las dosificaciones fueron corregidos por la humedad de los agregados al momento de la entrega de las muestras, pudiendo variar considerablemente la humedad en diferentes momentos de la ejecución de la obra, lo que podría variar la humedad superficial como la absorción efectiva, por lo que se deberá

5.2. Proyecto Villa San Cristóbal

hacer las correcciones respectivas cuando los responsables lo crean conveniente, además se hizo las conversiones respectivas de peso a volumen teniendo en cuenta los errores que se cometen por esta transformación debido básicamente al cálculo del peso unitario.

Cuadro 5.8: Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO					
f'c (kg/cm2)	Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Lt)	Total (kg/m3)
280	370.30	835.20	866.10	181.00	2252.60
245	342.90	845.90	877.20	181.00	2247.00
210	316.60	874.50	868.60	181.00	2240.70
175	282.20	900.10	869.70	181.00	2233.10

Cuadro 5.9: Dosificación en peso seco.

DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA)				
f'c (kg/cm2)	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)
280	1.00	2.26	2.34	20.80
245	1.00	2.47	2.56	22.40
210	1.00	2.76	2.74	24.30
175	1.00	3.19	3.08	27.30

Cuadro 5.10: Dosificación en volumen corregido por humedad.

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA)				
f'c (kg/cm2)	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)
280	1.0	1.9	2.7	21.0
245	1.0	2.1	3.0	22.5
210	1.0	2.4	3.2	24.0
175	1.0	2.8	3.6	27.0

5.2.5. Costos del Pavimento con Concreto Convencional

En esta sección se muestra el análisis de costos unitarios, con precios actualizados a la fecha, de los trabajos de encofrado y desencofrado del pavimento, ejecución de obras de concreto simple, curado de las superficies expuestas y relleno de las juntas de dilatación. El interés de presentar estos valores que fueron extraídos del expediente técnico del proyecto en aplicación, obedece a que serán parámetros de comparación con la propuesta de la presente investigación.

Encofrado y Desencofrado del Pavimento

Esta partida (cuadro 5.11) comprende el suministro, ejecución y colocación de las formas de madera necesaria para el vaciado del concreto de los diferentes elementos que conforman la estructura y el retiro del encofrado en el lapso establecido.

Cuadro 5.11: Análisis de costo unitario de Encofrado y Desencofrado

ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE PAVIMENTO (COSTO ACTUALIZADO)					
Rendimiento (m^2/DIA)	MO 15.00	Costo unitario directo por: m^2			28.43
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.1000	0.0533	13.75	0.73
Operario	hh	1.0000	0.5333	10.58	5.64
Oficial	hh	1.0000	0.5333	8.99	4.79
Peón	hh	0.5000	0.2667	8.12	2.17
					13.34
MATERIALES					
Alambre negro recocido # 16	kg		0.2600	3.81	0.99
Clavos para madera con cabeza de 3"	kg		0.1500	3.81	0.57
Estacas de fierro de 1/2"	kg		0.1200	3.81	0.46
Madera tornillo incluye corte para encofrado	p2		3.5600	3.56	12.67
					14.69
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		3.0000	13.34	0.40
					0.40

Concreto f'c 210 kg/cm² y Espesor de 0.20 m

Comprende la preparación y colocación del concreto como capa de rodadura con las exigencias a la resistencia a compresión, esta capa es colocada sobre una sub base adecuadamente conformada y compactada. El análisis de costo unitario se muestra en el cuadro 5.12.

Cuadro 5.12: Análisis de costo unitario de Concreto f'c 210 kg/cm²

CONCRETO f'c=210 kg/cm² PARA PAVIMENTO E=0.20 m (COSTO ACTUALIZADO)					
Rendimiento (m ² /DIA)	MO 80.00	Costo unitario directo por: m ²			65.84
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.2000	0.0200	13.75	0.28
Operario	hh	4.0000	0.4000	10.58	4.23
Oficial	hh	2.0000	0.2000	8.99	1.80
Peón	hh	8.0000	0.8000	8.12	6.50
					12.80
MATERIALES					
Piedra chancada de 3/4"	m ³		0.1240	55.08	6.83
Arena gruesa	m ³		0.0960	46.61	4.47
Cemento portland tipo I (42.5 kg)	bls		1.9760	19.92	39.36
Agua	m ³		0.0370	0.95	0.04
					50.70
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	12.80	0.64
Mezcladora de concreto de 9-11 p3	hm	1.0000	0.1000	8.47	0.85
Vibrador de concreto 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.1000	8.47	0.85
					2.33

Curado de Concreto

Consiste en humedecer el concreto endurecido para completar el ciclo de hidratación, para obtener la resistencia de diseño y una duración mayor en su vida útil. En el expediente técnico del proyecto el material con que se formuló el costo unitario de curado del concreto es yute crudo, sin embargo, en el proceso de ejecución se cambió por una lámina de arena húmeda, es por ello que para la presente investigación se muestra el análisis de costo unitario según se considero en el proceso constructivo (cuadro 5.13).

Cuadro 5.13: Análisis de costo unitario de Curado de Concreto

CURADO DE CONCRETO (COSTO ACTUALIZADO)					
Rendimiento (m ² /DIA)	MO 200.00	Costo unitario directo por: m ²			1.61
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.1000	0.0040	13.75	0.06
Peón	hh	1.0000	0.0400	8.12	0.32
					0.38
MATERIALES					
Arena gruesa	m ³		0.0250	46.61	1.17
Agua	m ³		0.0500	0.95	0.05
					1.21
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	0.38	0.02
					0.02

Juntas Asfálticas

Finalizado el curado y previo a la apertura al tránsito del pavimento, se deberán sellar todas las juntas con una mezcla de asfalto y arena gruesa. El análisis de costo unitario se muestra en el cuadro 5.14.

Cuadro 5.14: Análisis de costo unitario de Juntas Asfálticas

JUNTAS ASFÁLTICAS (COSTO ACTUALIZADO)					
Rendimiento (<i>m/DIA</i>)	MO 60.00	Costo unitario directo por: <i>m</i>			6.09
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.1000	0.0133	13.75	0.18
Oficial	hh	1.0000	0.1333	8.99	1.20
Peón	hh	2.0000	0.2667	8.12	2.17
					3.55
MATERIALES					
Arena fina	m3		0.0020	84.75	0.17
Arena gruesa	m3		0.0124	46.61	0.58
Asfalto RC-250	gal		0.1330	12.71	1.69
					2.44
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		3.0000	3.55	0.11
					0.11

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

Se plantea la propuesta de pavimentación con concreto compactado con rodillo, con las características que presenta el proyecto en aplicación y el cual ya fue descrito.

5.3.1. Diseño Estructural del Pavimento con CCR

Para el diseño estructural del pavimento con concreto compactado con rodillo se sigue la misma filosofía que para el concreto convencional, es decir, pueden emplearse los diferentes métodos de diseño para pavimento rígido. En la sección 5.2.3 referente al Proyecto Villa San Cristóbal, se presenta el resumen del diseño estructural del pavimento de dicho proyecto, el cual resulta válido si la capa de rodadura fuese concebido con CCR. Por lo expuesto, el espesor del pavimento con CCR será de 20.0 cm, para un concreto de resistencia a la compresión ($f'c$) de 210 kg/cm^2 .

5.3.2. Diseño de Mezcla CCR para la Aplicación Práctica

Para el diseño de mezcla CCR se emplea los conceptos de compactación de suelos, con el que se establece el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad de la mezcla. Todo el procedimiento de elaboración del diseño de mezcla del CCR se presentó en el capítulo 4, del cual se presenta el siguiente resumen.

Proporción de los Componentes de la Mezcla CCR

De los ensayos y cálculos, las proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales secos y corregidos por humedad son:

Cuadro 5.15: Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales secos.

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO						
Contenido Cemento	Cemento (kg)	Cemento (bls)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Lt)	Total (kg/m3)
12 %	229.72	5.41	1435.71	478.57	116.77	2266.18
14 %	266.49	6.27	1427.63	475.88	133.25	2309.52
16 %	300.97	7.08	1410.77	470.26	133.55	2322.63

Cuadro 5.16: Proporción del diseño de mezcla por metro cúbico de CCR de materiales corregidos por humedad.

RESUMEN DE MATERIALES HÚMEDOS POR M3 DE CONCRETO						
Contenido Cemento	Cemento (kg)	Cemento (bls)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (M_A) (Lt)	Total (kg/m3)
12 %	229.72	5.41	1462.13	487.38	92.62	2277.25
14 %	266.49	6.27	1453.90	484.63	115.01	2326.30
16 %	300.97	7.08	1436.73	478.91	124.37	2348.06

Selección de la Proporción de Mezcla

La elección de la proporción de los componentes de mezcla, esta en función a la resistencia a la compresión del concreto para el diseño del pavimento. En el cuadro 5.17 se muestra los resultados de las resistencias a compresión alcanzadas por las proporciones de mezcla.

Cuadro 5.17: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Nº	Tipo de Muestra	Edad (Días)	Peso Unitario (tn/m3)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Kg / cm2)	R. Promedio (Kg / cm2)
1	12 % cemento	28	2.32	25.87	264.09	265
2	12 % cemento	28	2.36	25.95	265.10	
3	14 % cemento	28	2.34	35.52	363.99	361
4	14 % cemento	28	2.36	34.84	357.41	
5	16 % cemento	28	2.34	37.24	383.20	386
6	16 % cemento	28	2.33	37.68	388.03	

Se sabe que la resistencia a la compresión de diseño ($f'c$) del pavimento del proyecto en aplicación es de 210 kg/cm^2 . De los resultados obtenidos, la mezcla con el 12 % de contenido de cemento nos da una resistencia a la compresión promedio ($f'cr$) de 265 kg/cm^2 , con una desviación favorable de 55 kg/cm^2 respecto de la resistencia de diseño, esta desviación se considera razonable e incluso podría ser mayor si se mejora las características de los agregados o que estos cumplan con los límites especificados por la norma ASTM C33. Por lo tanto se elige esta proporción como la indicada para su uso en el pavimento en aplicación, puesto que las demás proporciones presentan resistencias mucho mayores.

5.3.3. Análisis de Costos del Pavimento con CCR

Con la elección de la proporción de mezcla del concreto compactado con rodillo, se procede a estimar el análisis de costos unitarios para la colocación de la capa de rodadura del pavimento con CCR. Sólo se hará el cálculo de los costos para la capa de rodadura, puesto que como se indicó anteriormente el diseño estructural es el mismo que para un pavimento de concreto convencional, cuyos costos ya fueron estimados en el expediente del proyecto. Cabe precisar que los precios de mano de obra, materiales y equipos están actualizados a la fecha.

Concreto Compactado con Rodillo $f'c$ 210 kg/cm^2

Para el análisis de costos unitarios de producción del concreto compactado con rodillo con la resistencia solicitada, se hará considerando una hormigonera autocargable

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

como equipo de preparación y una planta estacionaria de producción de concreto, con la dosificación de mezcla determinada.

Costo del CCR con Hormigonera Autocargable

En el capítulo 4 se presentó las propiedades físicas del agregado, así como la proporción de mezcla con materiales corregidos por humedad para un contenido de cemento del 12%. Para el análisis de costos unitarios del CCR se seguirá la siguiente secuencia:

1. Proporción de materiales en peso corregido por humedad con 12% de contenido de cemento.
 - Cemento 5.41 *bls*
 - Agregado Fino 1462.13 *kg*
 - Agregado Grueso 487.38 *kg*
 - Agua 92.62 *lt*
2. Propiedades físicas del agregado.
 - Peso suelto seco del agregado fino 1636 *kg/m³*
 - Peso suelto seco del agregado grueso 1386 *kg/m³*
 - Contenido de humedad del agregado fino 3.38 %
 - Contenido de humedad del agregado grueso 0.92 %
3. La dosificación presentada es en peso húmedo y tendrá que convertirse a volumen para el análisis de costos. Por lo que es necesario determinar los pesos unitarios húmedos de los agregados, multiplicando por el contenido de humedad.
 - Agregado fino húmedo $1636 \times 1.0338 = 1691$ *kg/m³*
 - Agregado grueso húmedo $1386 \times 1.0092 = 1399$ *kg/m³*

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

4. Conocido los pesos unitarios sueltos húmedos de los agregados, bastará dividir la proporción de cada uno de los materiales en la mezcla entre los pesos sueltos húmedos respectivos, así obtener la dosificación por m^3 en volumen de la mezcla.

- Cemento 5.41 bls
- Agregado fino $1462.13/1691 = 0.8646 \text{ m}^3$
- Agregado grueso $487.38/1399 = 0.3484 \text{ m}^3$
- Agua 0.0926 m^3

5. A la proporción de mezcla CCR por m^3 estimada, se le adiciona un 5% por desperdicio y estos valores vendrían a ser las cantidades a ingresar en nuestro análisis de costo unitario.

- Cemento $5.41 \times 1.05 = 5.68 \text{ bls}$
- Agregado fino $0.8646 \times 1.05 = 0.9078 \text{ m}^3$
- Agregado grueso $0.3484 \times 1.05 = 0.3658 \text{ m}^3$
- Agua $0.0926 \times 1.05 = 0.0972 \text{ m}^3$

6. Para el cálculo de mano de obra por m^3 se tiene la siguiente cuadrilla y rendimiento.

- Cuadrilla = $0.2 \text{ Capataz} + 1 \text{ Operador de equipo} + 1 \text{ Oficial} + 2 \text{ Peón}$
- Rendimiento = $40.5 \text{ m}^3/\text{dia}$

7. Calculando las cantidades

- C. capataz $8 \times 0.2/40.5 = 0.0395$
- C. operador $8 \times 1/40.5 = 0.1975$
- C. oficial $8 \times 1/40.5 = 0.1975$
- C. peón $8 \times 2/40.5 = 0.3951$

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

8. Cálculo de equipos y herramientas por m^3 , la cuadrilla consta de: 1 hormigonera autocargable de $4 m^3$, 3 Petróleo diesel # 2 y herramientas. Las cantidades de las cuadrillas se estimó de proyectos donde se usó estos equipos.

- Las herramientas se estima que es el 5% del costo de mano de obra.
- C. hormigonera $8 \times 1 / 40.5 = 0.1975$
- C. Petróleo diesel $8 \times 3 / 40.5 = 0.5926$

9. Finalmente el costo unitario de producción del concreto compactado con rodillo con hormigonera autocargable queda como se muestra en el cuadro 5.18.

Cuadro 5.18: Análisis de costo unitario del concreto compactado con rodillo

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$					
Rendimiento (m^3/DIA)	MO. 40.50	EQ. 40.50	Costo unitario directo por: m^3		205.58
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.2000	0.0395	13.75	0.54
Operador de equipo	hh	1.0000	0.1975	10.58	2.09
Oficial	hh	1.0000	0.1975	8.99	1.78
Peón	hh	2.0000	0.3951	8.12	3.21
					7.62
MATERIALES					
Cemento portland tipo I (42.5 kg)	bls		5.6800	19.92	113.15
Arena gruesa	m3		0.9078	46.61	42.31
Piedra chancada de 3/4"	m3		0.3658	55.08	20.15
Agua	m3		0.0972	0.95	0.09
					175.70
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	7.62	0.38
Hormigonera autocargable 4 m3	hm	1.0000	0.1975	79.78	15.76
Petroleo Diesel # 2	hm	3.0000	0.5926	10.33	6.12
					22.26

Costo del CCR con Planta de Concreto

Para estimar los costos de mezcla CCR con una planta de producción de concreto masivo, se solicitó una cotización a la empresa Concrete Los Andes, quienes tienen una planta dosificadora de producción de agregados en la periferia de la ciudad, con una producción de $50 m^3/hora$. El precio por metro cúbico calculado por la empresa de la mezcla CCR con la dosificación determinada en este estudio y puesto en obra¹ es de S/. 231.75, no incluye IGV.

¹En referencia a la ubicación del Proyecto Villa San Cristóbal

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

Pavimento de Concreto Compactado con Rodillo

Para la estimación del costo de la actividad de pavimentación con CCR, se relaciona con los costos de pavimentado con concreto asfáltico; esto por la similitud del proceso constructivo ya explicado en el capítulo 3, sección 3.6. El rendimiento usual ya estimado para la actividad de colocación de la carpeta asfáltica es de $250 \text{ m}^3/\text{dia}$, sin embargo por la incertidumbre y no tener reportes de rendimiento de pavimento con mezclas CCR, se opta por reducir en un 10 % el rendimiento de pavimento con mezclas asfálticas para la confección de los costos unitarios de pavimento CCR. Para el costo unitario se considera que la mezcla CCR se prepara con planta, puesto que la producción es masiva. El resumen del análisis de costo unitario se presenta en cuadro 5.19 y fue calculado siguiendo el procedimiento anterior para el concreto compactado con rodillo.

Cuadro 5.19: Análisis de costo unitario del pavimento de concreto compactado con rodillo

PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$						
Rendimiento (m^3/DIA)	MO. 225.00	EQ. 225.00	Costo unitario directo por: m^3			309.91
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	1.0000	0.0356	13.75	0.49	
Operario	hh	1.0000	0.0356	10.58	0.38	
Peón	hh	8.0000	0.2844	8.12	2.31	
						3.17
EQUIPOS						
Herramientas manuales	%MO		5.0000	3.17	0.16	
Rodillo tandem vibr. aut. 9-11T	hm	1.0000	0.0356	160.00	5.69	
Rodillo neumático aut. 5.5-20T	hm	1.0000	0.0356	160.00	5.69	
Pavimentadora sobre llantas 10'-16'	hm	1.0000	0.0356	155.00	5.51	
						17.05
SUBPARTIDAS						
Preparación mezcla CCR	m3		1.2500	231.75	289.69	
						289.69

Nota: Se considera que se tiene 10 % de rendimiento menor respecto al pavimento asfáltico

Curado de Concreto Compactado con Rodillo

Esta actividad es fundamental para el éxito de la mezcla CCR y debe empezar inmediatamente culmine el proceso de compactación, para ello deberá emplearse pulverizadores manuales (figura 5.2) y luego rocío de agua más gruesos sobre arena

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

esparcida para mantener la humedad, es por eso que en el análisis de costo unitario se considera en herramientas el 10 % de mano de obra, además, se incrementa en un 50 % el recurso peón para el eficiente y sumo cuidado en el desarrollo de esta actividad; el rendimiento y los demás recursos a considerar en el costo unitario de esta actividad son iguales que para el curado del concreto convencional y se presenta en el cuadro 5.20.



Figura 5.2: Pulverizador manual (tipo agrícola)

Cuadro 5.20: Análisis de costo unitario de curado de concreto compactado con rodillo

CURADO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO						
Rendimiento (m^2/DIA)	MO. 200.00	EQ. 200.00	Costo unitario directo por: m^2			1.81
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	0.1000	0.0040	13.75	0.06	
Peón	hh	1.5000	0.0600	8.12	0.49	
					0.54	
MATERIALES						
Arena Gruesa	m3		0.0250	46.61	1.17	
Agua	m3		0.0500	0.95	0.05	
					1.21	
EQUIPOS						
Herramientas manuales	%MO		10.0000	0.54	0.05	
					0.05	

Juntas de Contracción y Construcción

Las juntas en pavimentos con concreto compactado con rodillo se realizan con maquinarias cortadoras de pavimento y luego se sellan con materiales asfálticos que impidan el ingreso de agua y partículas extrañas. En el estudio se propone el empleo de sellantes elastoméricos en las juntas, por su alta resistencia y buen comportamiento,

5.3. Propuesta de Aplicación del CCR

el cual se aplica de la siguiente manera: finalizado el corte del pavimento, se debe limpiar para eliminar la lechada y toda partícula extraña, una vez seco se coloca el cordón de respaldo (Backer rod) y finalmente el sellante elástico de poliuretano (ver figura 5.3).

Se propone que la junta será de 12 mm de ancho y profundidad de sellante de 10 mm, de las fichas técnicas de los fabricantes se estima que el rendimiento de los sellantes es 29 m/gal para la junta propuesta, de aquí, que para 1 m de junta se necesita 0.0345 gal de sellante, sin embargo por desperdicio se le agrega 5%, quedando finalmente la cantidad del recurso en 0.0362. En el cuadro 5.21, se muestra el análisis de costo unitario estimado para las juntas de contracción y construcción.

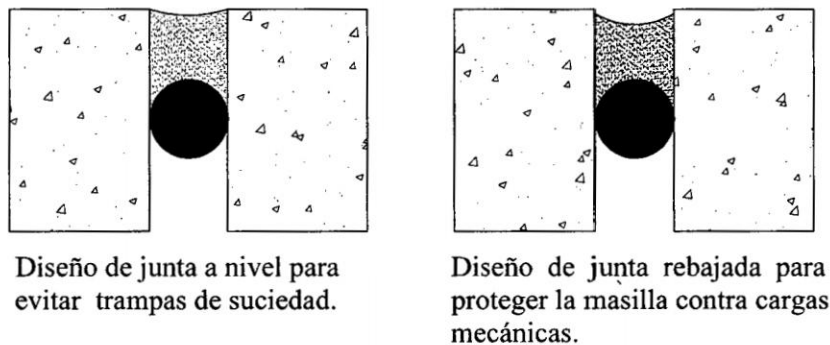


Figura 5.3: Junta con material de respaldo y sellante elástico de poliuretano.

Cuadro 5.21: Análisis de costo unitario de juntas de construcción y contracción en pavimentos de concreto compactado con rodillo

JUNTAS DE CONTRACCIÓN					
Rendimiento (m/DIA)	MO. 80.00	EQ. 80.00	Costo unitario directo por: m		16.60
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Capataz	hh	0.1000	0.0100	13.75	0.14
Operario	hh	1.0000	0.1000	10.58	1.06
Peón	hh	1.0000	0.1000	8.12	0.81
					2.01
MATERIALES					
Sellante Elástico de poliuretano	gal		0.0362	203.39	7.36
Material de respaldo para selladores	m		1.0000	5.08	5.08
Agua	m3		0.0500	0.95	0.05
					12.49
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	2.01	0.10
Cortadora de pavimento incl. disco	hm	1.0000	0.1000	20.00	2.00
					2.10

Capítulo 6

Análisis y Discusión de Resultados

En este capítulo se hará una evaluación de los principales resultados obtenidos en la presente investigación, además de compararlos frente a la aplicación práctica asumido en el estudio.

6.1. Evaluación del Diseño de Mezcla

6.1.1. Agregados

Dentro del concreto compactado con rodillo los agregados comprenden el 75 a 85 % del volumen, ahí radica la importancia de este material; la granulometría del agregado debe ser continua para garantizar una buena compactación. Para la presente investigación se usó el mismo agregado que se venía empleando en el proyecto en aplicación, obteniendo lo siguiente: la distribución granulométrica del agregado grueso esta dentro de los límites establecidos por el ASTM C 33 y el tamaño máximo nominal no supera los 3/4" recomendados por el ACI para mezclas CCR en pavimentos, sin embargo la granulometría del agregado fino esta fuera de los límites, pues presenta una mala distribución con partículas muy gruesas que influirán en la compactación y probablemente un mayor contenido de cemento para una resistencia dada, además de ello, supera el porcentaje de finos pasantes por la malla N° 200, todo lo mencionado se resume en la figura 6.1.

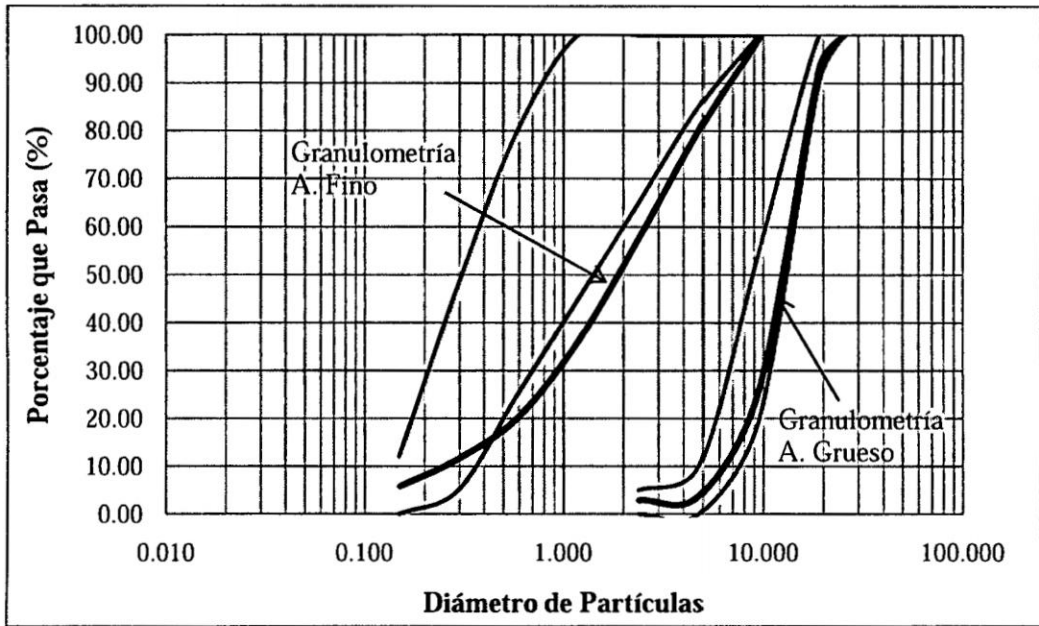


Figura 6.1: Curva de la distribución granulométrica de los agregados.

Luego se estima la distribución granulométrica global de los agregados, con el empleo del módulo de finesa, que deben estar dentro de los límites establecidos por el cuerpo de ingenieros de los estados unidos (figura 6.2)

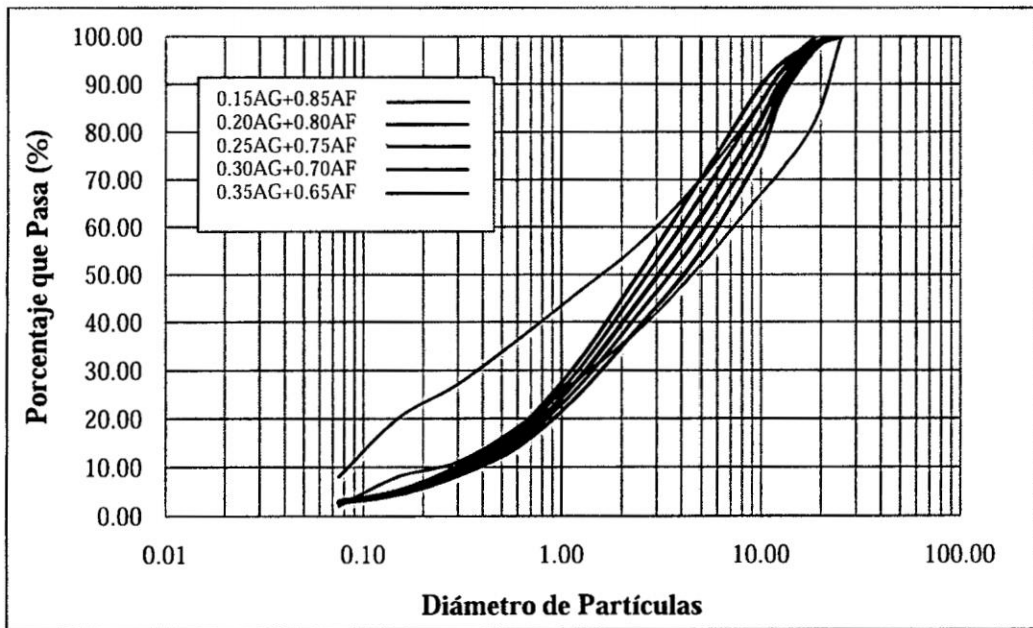


Figura 6.2: Curva de la distribución granulométrica óptima de los agregados.

6.1. Evaluación del Diseño de Mezcla

Como era de esperar, de las curvas de las distribuciones granulométricas mostradas, todas no cumplen con el límite inferior de los husos, esto quiere decir que hay una deficiencia de finos. La relación que mejor distribución del agregado presenta es 25 % AG + 75 % AF, aunque pudo haberse hecho ensayos de compactación con las relaciones más probables obtenidas para evaluar con cual se obtiene la mayor densidad. La baja proporción del agregado grueso se debe a la granulometría del agregado fino, de lo contrario la relación sería diferente con mayor proporción del agregado grueso.

6.1.2. Contenido de Humedad

En la figura 6.3 se muestra el resultado de los ensayos de compactación (proctor modificada), con la proporción de agregados estimada y variación de contenido de cemento.

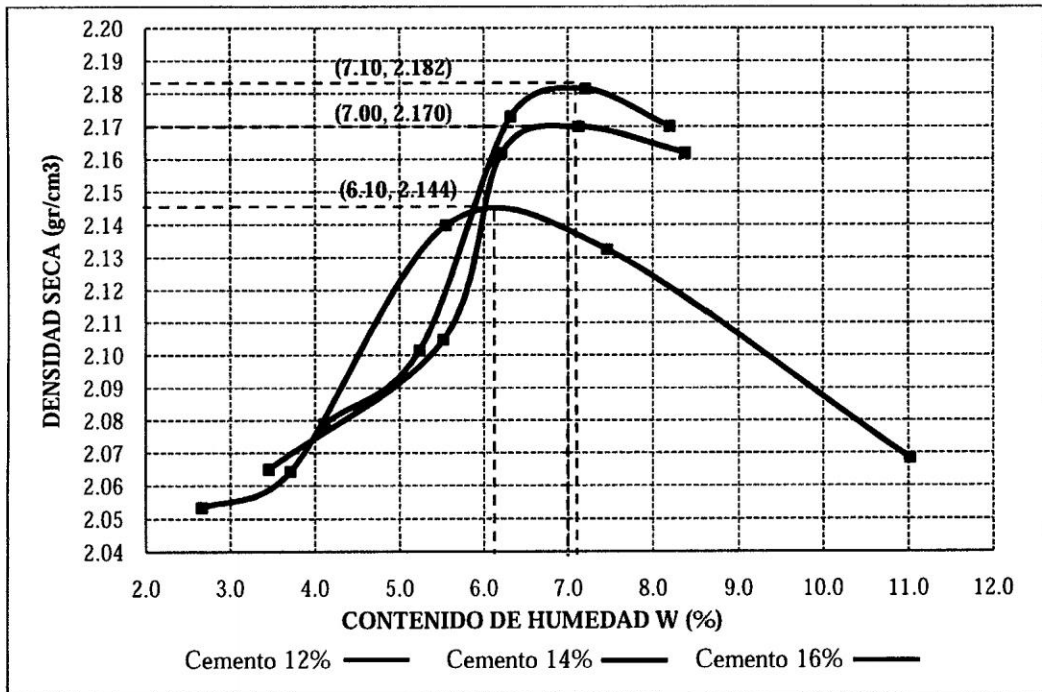


Figura 6.3: Curva del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca

En las curvas se observa que a medida que se incrementa la cantidad de cemento,

la máxima densidad seca también se incrementa, pues la pasta de cemento ocupa los espacios vacíos y como consecuencia se logra una mejor compactación de la mezcla. También es importante considerar la hidratación del aglomerante, pues a mayor contenido de masa cementante, mayor será el contenido de agua para lograr la máxima densidad seca.

6.1.3. Resistencia a la Compresión y Flexión

Para determinar la resistencia a la compresión se elaboraron 12 probetas cilíndricas, con contenidos de cemento de 12 %, 14 % y 16 %; que fueron ensayadas a las edades de 7 y 28 días, de acuerdo a la norma ASTM C39 y su equivalente peruano MTC E 704-2000. En el cuadro 6.1 se muestra el resumen de las resistencias a la compresión alcanzadas, que son bastante altas, pese a que los pesos unitarios están por debajo de $2.4 \text{ Tn}/\text{m}^3$, es decir menores al concreto convencional, esto por la falta de finos en la distribución granulométrica de los agregados que no permiten la compactación óptima. En base a las resistencias a la compresión, se calcula el módulo de rotura o flexión, donde se aprecia que todos los valores están por encima de $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$, es decir mayores a la resistencia mínima recomendada por el AASHTO para rangos de tráfico menores a 5'000,000 EE.

Cuadro 6.1: Resistencias alcanzadas con el concreto compactado con rodillo.

Nº	Tipo de Muestra	Edad Ensayo (Días)	Peso Unitario (tn/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)
1	C. cemento 12 %	7	2.33	222	39
2	C. cemento 12 %	28	2.34	265	42
3	C. cemento 14 %	7	2.35	251	41
4	C. cemento 14 %	28	2.35	361	49
5	C. cemento 16 %	7	2.35	270	43
6	C. cemento 16 %	28	2.33	386	51

Además se observa que la resistencia a la compresión del CCR, se incrementa con el aumento del contenido de cemento; aunque para el contenido de 14 % a 16 % de

cemento, el incremento de resistencia es menor (figura 6.4).

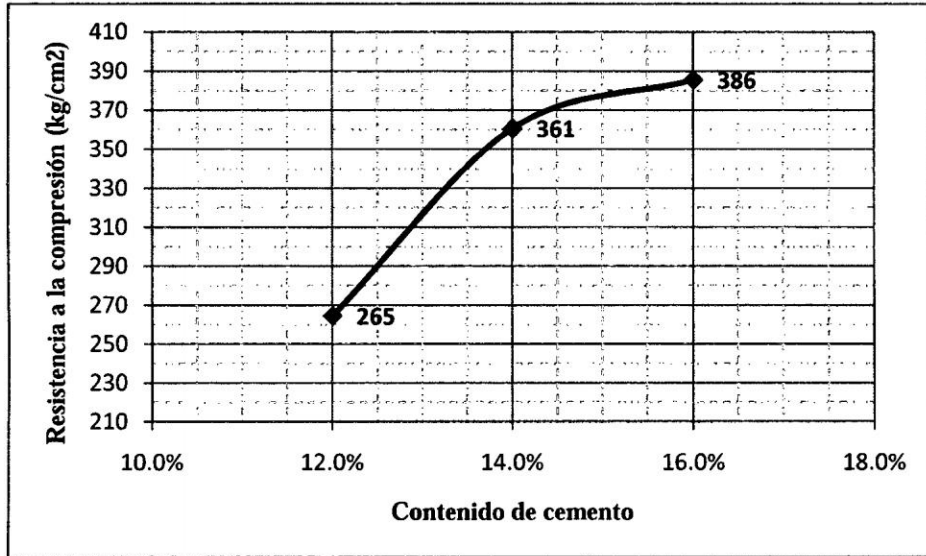


Figura 6.4: Curva contenido de cemento versus resistencia a la compresión

6.1.4. Proporción de Mezcla

De los ensayos y cálculos del diseño de mezcla, tanto para el concreto convencional (Proyecto Villa San Cristóbal) y el estudio del concreto compactado con rodillo, se presenta el resumen de las proporciones de los componentes de mezcla que cumplen con las resistencias a la compresión del diseño de pavimento.

Cuadro 6.2: Resumen de proporción del diseño de mezcla por tipo de concreto de materiales secos.

PROPORCIÓN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO f'c 210 kg/cm ²						
Tipo de Concreto	Cemento (kg)	Cemento (bls)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Lt)	Total (kg/m ³)
CCR	229.72	5.41	1435.71	478.57	116.77	2266.18
Convencional	316.60	7.45	874.50	868.60	181.00	2240.70

De los resultados se observa que en la mezcla con concreto compactado con rodillo, se requiere una menor proporción de cemento frente al concreto convencional (aproximadamente 2 bolsas menos), además la cantidad de agregado fino es mucho mayor que el agregado grueso, situación que es diferente en el concreto convencional. Con

6.2. Evaluación de los Costos Directos

la proporción de la mezcla CCR mostrada, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 220 kg/cm^2 a los 7 días de haber sido ensayado, esto podría permitir la apertura al tránsito en ese periodo de tiempo o menos, ya que experiencias señalan que una regla práctica para la apertura al tránsito es obtener una resistencia de 2500 a 4000 *psi*, y con la proporción encontrada se llega a una resistencia de 3130 *psi*. La alta resistencia a la compresión lograda en periodos cortos del CCR, se debe a la energía de compactación que se le proporciona y con ello una mayor densidad de la mezcla CCR, frente a los concretos convencionales.

6.2. Evaluación de los Costos Directos

Se hará una evaluación de los costos directos para el pavimento de la aplicación práctica, considerando la alternativa de un concreto convencional y la otra con concreto compactado con rodillo, este análisis se presenta en el cuadro 6.3.

Cuadro 6.3: Resumen de costos unitarios directos de las partidas del pavimento.

COSTOS UNITARIOS DIRECTOS DE PAVIMENTO f'c 210 kg/cm ²				
Partida	Unidad	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
PAVIMENTO CON CONCRETO CONVENCIONAL				
Encofrado y desencofrado de pavimento	m ²	2,440.16	28.43	69,373.75
Concreto E=0.20 m	m ²	15,137.09	65.84	996,626.01
Curado de concreto	m ²	15,137.09	1.61	24,370.71
Juntas Asfálticas	m	6,685.44	6.09	40,714.33
Total (A)				1'131,084.80
PAVIMENTO CON CCR				
Pavimento con CCR E=0.20 m	m ³	3,027.42	309.91	938,227.11
Curado de concreto	m ²	15,137.09	1.81	27,398.13
Juntas de contracción y construcción	m	2,674.18	16.60	44,391.32
Total (B)				1'010,016.57
Variación de costos de las alternativas				
A-B				121,068.23

La unidad de metrado de colocación del concreto esta en m^2 ; para la partida pavimento con CCR tendrá que convertirse a m^3 , para ello se tiene que el espesor del pavimento es de 0.2 m, entonces se divide por 5 para convertir la unidad en m^3 . De igual modo se estima el metrado de las juntas de contracción de pavimentos con

6.2. Evaluación de los Costos Directos

CCR, donde se propone que estén espaciadas a 10 *m* y no haya juntas longitudinales, para esta sección y con un ancho de vía de 5.50 *m* en promedio, se tendrá 11 *m* de juntas. Para el proyecto en aplicación en la misma sección, se tiene 26.50 metros, con juntas transversales cada 4 *m* más juntas longitudinales. De la relación de ambas medidas se tiene el factor de 0.4, que al multiplicar al metrado del proyecto se obtiene la medida de junta para el pavimento CCR.

Se tiene menor metrado de juntas en la alternativa de pavimento con CCR, aun así, el costo directo de esta partida supera al de la aplicación práctica. Pero es bueno precisar que la junta propuesta para el pavimento CCR son con sellantes elastoméricos, que tienen una resistencia y duración de aproximadamente 15 años, frente a las juntas asfálticas del proyecto con una duración promedio de 3 años.

El ahorro alcanzado con la alternativa de pavimento CCR evaluado en el Proyecto Villa San Cristóbal es de S/. 121,068.23 (10.7%), que permitiría pavimentar una mayor cantidad de calles, con un buen tratamiento de juntas y curado de vía que garantizarán su resistencia y duración.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. El empleo de concreto compactado con rodillo en los pavimentos es relativamente nueva, si bien hay experiencias que datan de hace mucho, en nuestro medio aún no es de conocimiento masivo. Los altos rendimientos de colocación y la economía lograda frente a los pavimentos de concreto convencional, como se demostró en la investigación, hacen del CCR una alternativa potencial de aplicación.
2. Los agregados constituyen la mayor proporción en la mezcla CCR, por lo tanto, el cumplimiento de los estándares mínimos de calidad y una buena distribución granulométrica, limitando el tamaño máximo nominal a 3/4", aseguran obtener la máxima densidad cuando la mezcla sea compactado. Si se da que la granulometría del agregado presenta deficiencia de finos, como en la investigación, genera que para una resistencia dada, se requiera mayores cantidades de cemento, pues la pasta de éste llenará los espacios vacíos entre las partículas del agregado para lograr una adecuada compactación.
3. El óptimo contenido de humedad para alcanzar la máxima densidad seca de

7.1. Conclusiones

compactación, se ve influenciada por la hidratación del cemento, pues a mayor contenido de cemento, se incrementa la cantidad de agua para la mezcla.

4. En vista que los métodos de diseño de mezcla del concreto convencional, no son aplicables para el diseño de mezcla CCR, por la consistencia seca del material, la filosofía de compactación de suelos alivia el inconveniente y facilita la tarea, pues al tratarse de un procedimiento cotidiano y simple dentro de la geotecnia, puede emplearse tanto en el diseño como el control del CCR, aunque para proyectos de gran envergadura habría que complementar con otros procedimientos.
5. Las resistencias obtenidas en los ensayos a compresión del concreto compactado con rodillo son altas, sin embargo es necesario notar que las probetas en su mayoría fallaron en la parte superior, pese a que en la confección se usó una extensión en el molde para permitir una mejor compactación de las últimas capas; este suceso también es atribuible a la deficiencia de finos del agregado, siendo más grave en las mezclas con menor contenido de cemento, puesto que en los otros la pasta de la masa cementante ayudó a una mejor compactación.
6. La proporción de mezcla de concreto compactado con rodillo con que se logra la resistencia de diseño para el pavimento de la aplicación práctica (210 kg/cm^2), es 12% de contenido de cemento. Esta proporción de CCR requiere 2 bolsas menos de cemento frente al diseño de mezcla del concreto convencional, además por las resistencias obtenidas a los 7 días de haber sido ensayados, se podría aperturar al tránsito la vía en ese periodo de tiempo o menos, esto se logra por la energía de compactación y como consecuencia una mayor densidad de la mezcla CCR.
7. El costo directo de pavimento CCR, se confecciona considerando que la mezcla será preparada en una planta de concreto, pues se tienen altos volúmenes de producción; aunque sea haya estimado que la producción con hormigonera

autocargable es más barata. La cotización de CCR producido en planta, es considerando para el transporte camiones mezcladores, puesto que el tipo de planta es dosificadora. Si la planta fuese del tipo mezcladora el transporte sería mucho más barata, ya que bastaría el uso de camiones de volteo.

8. Desde el punto de vista económico, el empleo de concreto compactado con rodillo en los pavimentos es ventajoso, pues se logra un ahorro significativo. En la evaluación económica de colocación de la capa de rodadura en el proyecto en aplicación con la alternativa del CCR frente al concreto convencional, se logra un ahorro del 10.7%, además que la alternativa del CCR contempla un mejor tratamiento de juntas y curado del concreto.

7.2. Recomendaciones

1. La elección de la cantera de agregados para la mezcla de concreto compactado con rodillo, debe ser estricto en el cumplimiento de las normas y límites para tener los resultados esperados. En el caso del estudio hubiese sido recomendable buscar otra cantera para el agregado fino, que presente una granulometría continua y este dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C 33.
2. Para determinar la combinación óptima del agregado grueso y fino, se empleo el método del módulo de finesa, sin embargo para la elección de la combinación de agregados sería recomendable verificar las distribuciones granulométricas probables con el ensayo proctor modificado y así elegir el de mayor densidad seca.
3. Para la preparación de las probetas cilíndricas CCR, se hizo con los equipos y energía de compactación similar al proctor modificado, empleando la probeta normado por la ASTM C 31. La cantidad de golpes a emplear para compactar la muestra se determinó con la ecuación de energía de compactación, aunque se recomienda que tal cantidad debe ser afinada haciendo ensayos previos,

7.3. *Temas Afines de Investigación*

evitando la fractura de las partículas del agregado y alcanzando la máxima densidad seca.

4. En la elaboración de las probetas CCR para el ensayo de resistencia a la compresión, se debe buscar los medios y mecanismos que aseguren la buena compactación, sobre todo la última capa.
5. El proceso de curado de la mezcla CCR debe ser sumamente cuidadoso e iniciar una vez finalice la compactación. Para las probetas elaboradas en el diseño de mezcla, se debe buscar mecanismos para evitar la pérdida de humedad, como cubrir con bolsas plásticas las probetas hasta que la mezcla endurezca, para luego continuar su proceso en tanques con agua.
6. Para la reparación y mantenimiento de vías de tramos cortos con CCR, sería recomendable el uso de hormigonera autocargable u otros equipos adecuados de preparación de mezcla, pues no se requiere grandes volúmenes de concreto.
7. Con el empleo de concreto compactado con rodillo en los pavimentos no se pretende reemplazar los métodos conocidos y practicados, sino, que sea una alternativa de aplicación en vías de menor importancia y mantenimiento, permitiendo el estudio de su comportamiento y confiabilidad para su masificación.

7.3. Temas Afines de Investigación

En el desarrollo de la investigación surgieron interrogantes que no se pudieron abordar y que serían materia de otras tesis, por lo que dejo a consideración:

1. Realizar un análisis de las canteras próximas a la ciudad, para determinar el más óptimo y que brinde mejores resistencia con el uso del CCR.
2. Evaluar el uso del CCR para rehabilitación y mantenimiento de vías frente a otras alternativas.

7.3. Temas Afines de Investigación

3. Desarrollar una comparación técnica y económica del tratamiento de juntas en pavimentos con sellantes elásticos de poliuretano o similares, frente a mezclas asfálticas.

Referencias Bibliográficas

- [1] ACI. Aci manual of concrete practice - cement and concrete terminology. *Reported by ACI Committee 116 (ACI 116R-90)* (1990).
- [2] ACI. Report on roller-compacted concrete pavements. *Reported by ACI Committee 325 (ACI 325.10R-95)* (2001).
- [3] ADASKA, W. *Roller-Compacted Concrete (RCC)*. Portland Cement Association PCA R&D Serial N° 2975, 2006.
- [4] ALVARADO, R., DÍAZ, G., AND SOMOZA, C. *Concreto Compactado con Pavimentadora como Alternativa de Pavimentación para la Red Vial de El Salvador*. Universidad de El Salvador, Febrero, 2004.
- [5] BELÉN, M., AND ET AL. Hormigón compactado con rodillo de uso vial. *Universidad Nacional de Rosario - Argentina* (2002).
- [6] CARRILLO, C., AND ORELLANA, V. Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el concreto compactado con rodillo (ccr) empleado en la construcción de pavimentos. *Viciministerio de Obras Públicas de la República de el Salvador* (Septiembre, 2003).
- [7] CEMEX. *Pavimentos de Concreto CEMEX "Impulsando el Desarrollo de México"*. CEMEX México, 2010.
- [8] CHANG, C. Reflexiones para el diseño y rehabilitación de pavimentos rígidos en obras viales. *Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM) - Perú* (2013).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [9] CHUCHÓN, W. *Estudio y Comparación Técnica y Económica de Pavimentos Suelo Cemento y Concreto Simple*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2003.
- [10] ESCALAYA, M. *Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2006.
- [11] ESCALAYA, M., AND ALVA, J. Diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos. *XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil* (2003).
- [12] HUANG, Y. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall, Second Edition, The United States of America, 2004.
- [13] INCYC. Concreto compactado con rodillos para estructuras de pavimento. *Boletín Técnico Número 35* (Junio, 2012).
- [14] KHALILZADEH, E., AND MOKHTARI, M. Joints in roller compacted concrete pavements. *International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - Malaysia* (2012).
- [15] LONDOÑO, C. Concreto compactado con rodillo. *Nota Técnica Número 4-35 Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC* (1988).
- [16] MONTEJO, A. *Ingeniería de Pavimentos (Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño)*. Universidad Católica de Colombia, Tercera Edición, Colombia, 2006.
- [17] MTC. *Reglamento Nacional de Vehículos*. MTC, 2003.
- [18] MTC. *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales Para la Construcción EG-2013"*. MTC, Enero, 2013.
- [19] MTC. *Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"; Sección Suelos y Pavimentos*. MTC, Febrero, 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [20] MVCS. *Norma Técnica CE. 010 "Pavimentos Urbanos"*. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Enero, 2010.
- [21] PCA. *Guide specification for construction of roller-compacted concrete pavements*. *www.cement.org* (2004).
- [22] RAMOS, J. *Costos y Presupuestos en Edificaciones*. Camara Peruana de la Construcción (CAPECO), Décima edición, Perú, 2010.
- [23] REYES, F. *Diseño Racional de Pavimentos*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería - Centro Editorial Javeriano, Primera Edición, Colombia, Noviembre, 2003.
- [24] RIVVA, E. *Diseño de Mezclas*. Segunda Edición, Perú, 2007.
- [25] RIVVA, E. *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Capítulo Peruano ACI, Primera Edición, Perú, Diciembre, 2000.
- [26] VÁSQUEZ, O. *Todo Sobre Presupuestos en Edificaciones*. Cuarta edición, Perú, Enero, 2011.

Apéndice A

DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

En este apéndice se muestra el Diseño de Mezcla realizado para el proyecto “Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, distrito de Jesús Nazareno - Huamanga - Ayacucho”.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los Agregados.-

Los agregados fueron muestreados en la obra por los solicitantes.

Por su origen los agregados analizados, se clasifican en agregados de origen natural pero tratados. De acuerdo a su gravedad específica, estos se clasifican en agregados de peso normal. De acuerdo a su perfil las partículas del agregado grueso se pueden considerar como agregados de perfil angular.

El agregado grueso corresponde a Piedras Chancadas provenientes de la cantera Muyurina. El agregado fino corresponde a Arenas provenientes de la cantera Muyurina.

Del análisis granulométrico del agregado grueso se ha determinado el Tamaño Máximo que es de $TM = 1 \frac{1}{2}$ " y el Tamaño Máximo Nominal siendo este de $TMN = 1$ " y se clasifica como Grava Mal graduada GP.

En cuanto al Agregado Grueso este cumple con la gradación del Huso Granulométrico N° 467 ($1 \frac{1}{2}$ " a N° 4") establecido en las normas.

Del análisis granulométrico del agregado fino (Arena), la muestra corresponde a Arenas bien graduada SW, del análisis de la arena se puede observar que este cumple con la gradación de las arenas de nuestra Norma (límites extremos), se encuentra ligeramente fuera del Huso C que es el más recomendado para elaborar concretos con cemento Portland.

Del análisis granulométrico del Agregado Fino se ha determinado el Modulo de Fineza, con lo que se puede intuir una fineza promedio del material, siendo este valor de $MF = 3.31$, el cual no se encuentra dentro del rango recomendado que es de 2.35 a 3.15, pero esto se tendrá en cuenta en el diseño de mezcla de concreto.

Los agregados gruesos presentan materiales pasantes por la malla N° 200 (finos como limos y arcillas) en proporciones menores al 1%, por lo que no es necesario el lavado respectivo.

INGEOTECON
ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71120

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



Para el agregado fino el porcentaje de finos limos y arcillas se encuentran en proporciones mayores al 5%, por lo que se recomienda el lavado del agregado antes de su uso. Después de ello se deberá tener en cuenta que durante toda la obra se mantenga estos límites de los finos en cuanto a los máximos permitidos.

Algunas propiedades ensayadas a los agregados puestos en obra se presentan a continuación:

AGREGADO	Tamaño Máximo TM	Tamaño Máximo Nominal TMN	Modulo de Fineza	Superficie específica (cm ² /gr)	Porcentaje Grava (%)	Porcentaje Arena (%)	Porcentaje de Finos (%)
AGREGADO GRUESO	1.5	1	7.77	3.80	98.6	1.1	0.32
AGREGADO FINO	--	--	3.31	72.38	7.5	86.9	5.60
AGREGADO GLOBAL	1 1/2"	1"	5.6	--	54.0	43.1	2.91

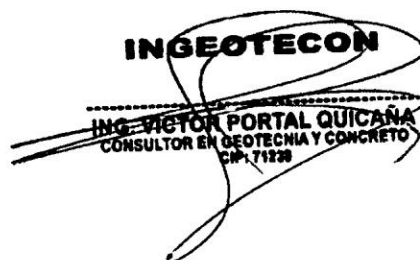
AGREGADO	PUS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)	PEM Gs	% ABSORCION	% VACIOS PUS	% VACIOS PUCS	SUCS
AGREGADO GRUESO	1386	1475	2.54	1.97	45.5	42.0	GP
AGREGADO FINO	1636	1768	2.42	5.72	32.4	27.0	SW
AGREGADO GLOBAL	HUSO 1 1/2"	Dosificación:	% AG=	51.0	% AF=	49.0	GP

De los aditivos.-

A criterio de los responsables de la ejecución podría usarse algún aditivo para controlar alguna propiedad del concreto, como es el caso de un aditivo reductor de agua, aditivos curadores, impermeabilizantes, etc., según las necesidades del Proyecto al momento.

Del proporcionamiento del concreto.-

La selección de las proporciones de los materiales integrantes del concreto deberá permitir que: Se logre la trabajabilidad y consistencia que permitan que el concreto sea colocado fácilmente en los encofrados y alrededor del acero de refuerzo bajo las condiciones de colocación a ser empleadas, sin segregación o exudación excesiva. Se logre resistencia y durabilidad a las condiciones especiales de exposición a que pueda estar sometido el concreto.



APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



Se recomienda una **consistencia plástica de 3" a 4"** medida con el cono de Abrams, teniendo en cuenta una adecuada compactación mecánica.

El diseño de mezcla calculado se presenta a continuación, las dosificaciones fueron corregidos por la humedad de los agregados al momento de la entrega de las muestras, pudiendo variar considerablemente la humedad en diferentes momentos de la ejecución de la obra, lo que podría variar la Humedad superficial como la absorción efectiva, por lo que se deberá hacer las correcciones respectivas cuando los responsables lo crean conveniente, además se hizo las conversiones respectivas de peso a volumen teniendo en cuenta los errores que se cometen por esta transformación debido básicamente al cálculo del peso unitario.

Las proporciones del diseño de mezcla por metro cubico de concreto de materiales secos, para un agregado grueso de TMN 1" es de:

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)						
f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	812.3	864.2	181.0	2259.6
	0.50	362.0	841.2	866.6	181.0	2250.8
280		370.3	835.2	866.1	181.0	2252.6
245		342.9	845.9	877.2	181.0	2247.0
210		316.6	874.5	868.6	181.0	2240.7
175		282.2	900.1	869.7	181.0	2233.1
140		259.7	917.1	870.3	181.0	2228.1

La dosificación en volumen corregido por la humedad es de (Cemento:Arena:Piedra:Agua):

INGEOTECON
ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71779

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f _c (kg/cm ²)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.7	2.5	19.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.0	2.8	21.0
280	Resistencia	1.0	1.9	2.7	21.0
245	Resistencia	1.0	2.1	3.0	22.5
210	Resistencia	1.0	2.4	3.2	24.0
175	Resistencia	1.0	2.8	3.6	27.0
140	Resistencia	1.0	3.1	3.9	29.5

Para la preparación del concreto se recomienda primero echar el agua luego un 10% aproximadamente de agregado grueso, luego el cemento completando finalmente con los agregados, es aconsejable el uso de cuberas cuando el concreto sea preparado con trompito.

De los ensayos al concreto endurecido.-

Las muestras para ensayos de resistencia en compresión de cada clase de concreto colocado cada día deberán ser tomadas:

- No menos de una muestra de ensayo por día.
- No menos de una muestra de ensayo por cada 50 metros cúbicos de concreto colocado.
- No menos de una muestra de ensayo por cada 300 metros cuadrados de área superficial para pavimentos o losas.

Se recomienda curar tanto en agua sumergida como a pie de obra, e identificadas adecuadamente.

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239



ENSAYOS

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
(MTC E 204 - 2000)**

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : PIEDRA CHANCADA

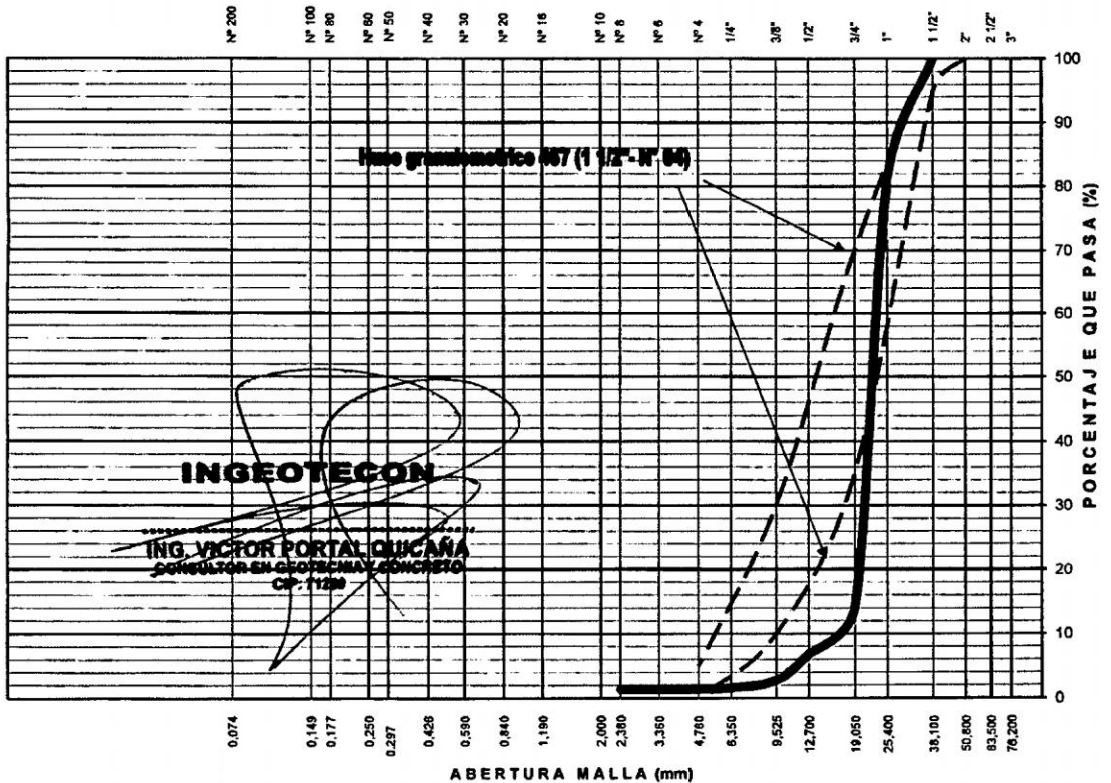
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUESO +67 (1 1/2" a N°4)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200		-	-	100.00		PESOS (gr)
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		Peso seco inicial 2580.0
2"	50.800		-	-	100.00	100 - 100	Peso seco lavado 2571.7
1 1/2"	38.100		-	-	100.00	95 - 100	Pérdida por lavado 8.3
1"	25.400	481.80	18.67	18.67	81.33		ENSAYOS ESTÁNDAR
3/4"	19.050	1,731.02	67.09	85.77	14.23	35 - 70	% Grava 98.6
1/2"	12.700	189.85	7.36	93.13	6.87		% Arena 1.1
3/8"	9.525	106.02	4.11	97.24	2.76	10 - 30	% de Finos 0.3
1/4"	6.350	30.95	1.20	98.43	1.57		D ₁₀ = D _{60(mm)} = 15.3976
N° 4	4.760	3.70	0.14	98.58	1.42	0 - 5	D _{30(mm)} = 20.5423
N° 8	2.380	1.18	0.05	98.62	1.38		D _{50(mm)} = 23.3816
N° 10	2.000	0.84	0.03	98.66	1.34		Cu = 1.52
N° 16	1.190	4.26	0.17	98.82	1.18		Cc = 1.17
N° 20	0.840	2.97	0.12	98.94	1.06		D _{15(mm)} = 19.1226
N° 30	0.590	5.44	0.21	99.15	0.85		D _{30(mm)} = 22.4352
N° 40	0.426	3.18	0.12	99.27	0.73		D _{60(mm)} = 27.8988
N° 50	0.297	2.31	0.09	99.36	0.64		Clasificación SUCS GP
N° 60	0.250	2.04	0.08	99.44	0.56		GRAVA MAL GRADUADA
N° 80	0.177	2.55	0.10	99.54	0.46		Tamaño Maximo (Pulg)* 1 1/2
N° 100	0.149	0.95	0.04	99.58	0.42		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)* 1
N° 200	0.075	2.65	0.10	99.68	0.32		Gravedad especifica 2.54
Lavado		8.3	0.32	100.00	0.00		Módulo de Fineza 7.77
TOTAL		2580.0	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr) 3.80

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

(MTC E 204-2000)

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : ARENA

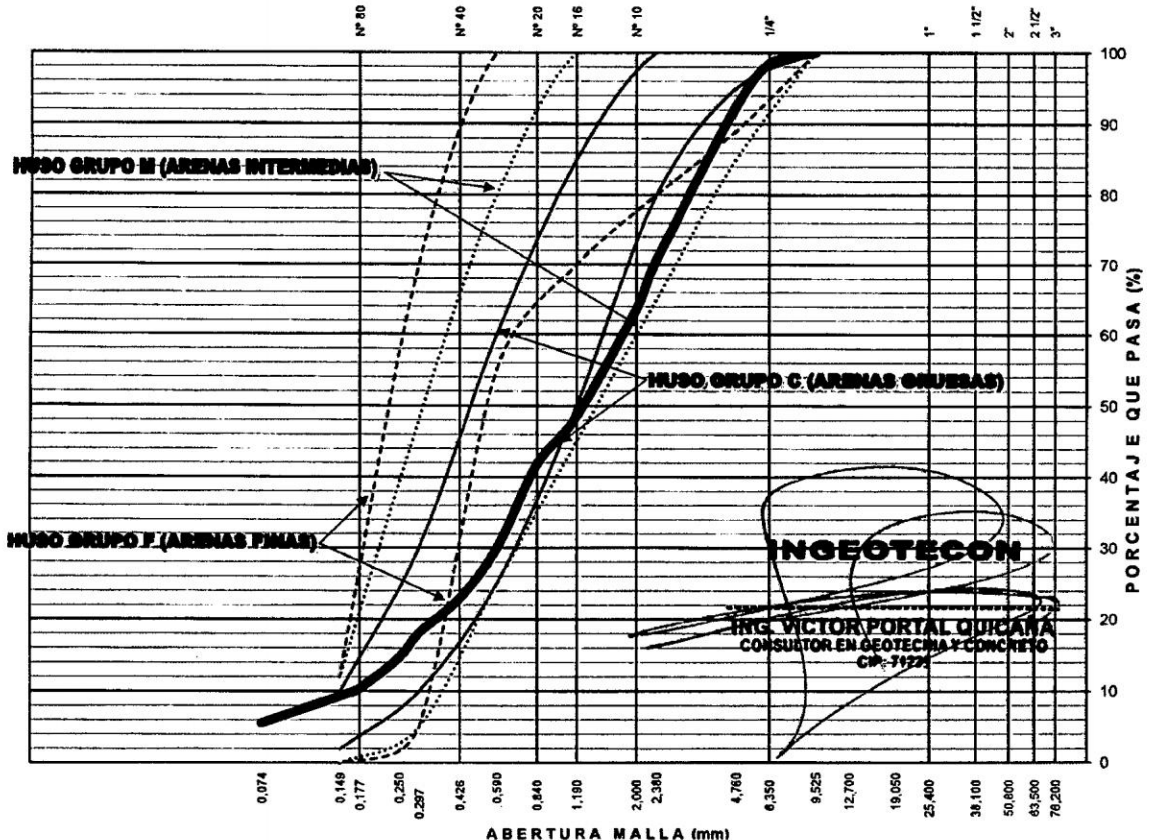
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. LIM. TOTAL	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200		-	-	100.00		PESOS (gr) Peso seco inicial 1239.4 Peso seco lavado 1170.0 Pérdida por lavado 69.4 ENSAYOS ESTÁNDAR % Grava 7.5 % Arena 86.9 % de Finos 5.6 D ₁₀ = D _{60(mm)} = 0.1662 D ₃₀ = 0.5918 D _{60(mm)} = 1.8050 45 - 100 Cu = 10.86 Cc = 1.17 25 - 100 D _{15(mm)} = 0.2547 D _{50(mm)} = 1.2681 5 - 70 D _{85(mm)} = 3.9424 Clasificación SUCS SW
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		
2"	50.800		-	-	100.00		
1 1/2"	38.100		-	-	100.00		
1"	25.400		-	-	100.00		
3/4"	19.050		-	-	100.00		
1/2"	12.700		-	-	100.00		
3/8"	9.525		-	-	100.00	100	
1/4"	6.350	18.57	1.50	1.50	98.50		
Nº 4	4.760	74.87	6.04	7.54	92.46	89 - 100	
Nº 8	2.380	269.17	21.72	29.26	70.74	65 - 100	
Nº 10	2.000	88.14	7.11	36.37	63.63		
Nº 16	1.190	187.00	15.09	51.46	48.54	45 - 100	
Nº 20	0.840	83.42	6.73	58.19	41.81		
Nº 30	0.590	147.49	11.90	70.09	29.91	25 - 100	
Nº 40	0.426	86.53	6.98	77.07	22.93		
Nº 50	0.297	60.24	4.86	81.93	18.07	5 - 70	
Nº 60	0.250	42.30	3.41	85.34	14.66		
Nº 80	0.177	52.65	4.25	89.59	10.41		
Nº 100	0.149	13.26	1.07	90.66	9.34	0 - 12	
Nº 200	0.075	46.38	3.74	94.40	5.60		
Lavado		69.4	5.60	100.00	0.00		
TOTAL		1,239.42	100.00				ARENA BIEN GRADUADA Gravedad específica 2.42 Módulo de Fineza 3.31 Superficie específica (cm ² /gr) 72.4

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO (ARENA)



APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT. MUYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO

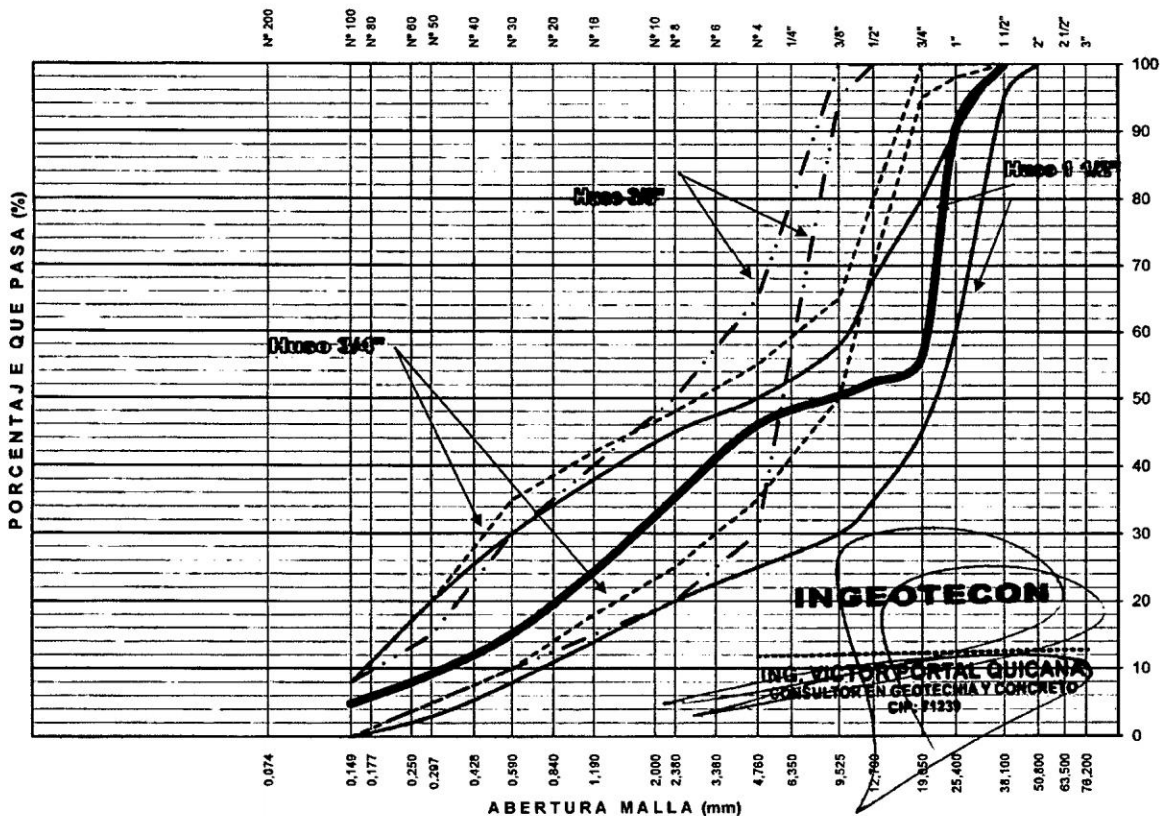
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	% PASA (A. GRUESO)	% PASA (A. FINO)	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. MH50 1.12		DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
	RESULTADOS									
	3"	76.200	100.00	100.00	0.0	100.00			% Grava	54.0
	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.0	100.00	100	100	% Arena	43.1
	2"	50.800	100.00	100.00	0.0	100.00			% de Finos	2.9
	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.0	100.00			D ₁₀ = D _{60(mm)} =	0.3405
	1"	25.400	81.33	100.00	9.5	90.48	60	90	D _{30(mm)} =	1.7980
	3/4"	19.050	14.23	100.00	43.7	56.26	45	80	U _{50(mm)} =	19.7443
	1/2"	12.700	6.87	100.00	47.5	52.51	35	68	Cu =	58.0
	3/8"	9.525	2.76	100.00	49.6	50.41	30	58	Cc =	0.5
	1/4"	6.350	1.57	98.50	50.9	49.06	-	-	D _{15(mm)} =	0.5856
	Nº 4	4.760	1.42	92.46	54.0	46.03	25	50	D _{50(mm)} =	8.5578
	Nº 8	2.380	1.38	70.74	64.6	35.37	20	45	D _{85(mm)} =	24.3838
	Nº 10	2.000	1.34	63.63	68.1	31.86	-	-	Clasificación SUCS	GP
	Nº 16	1.190	1.18	48.54	75.6	24.39	14	38	GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA	
	Nº 20	0.840	1.06	41.81	79.0	21.03	-	-	Tamaño Maximo	1 1/2"
	Nº 30	0.590	0.85	29.91	84.9	15.09	8	30	Tamaño Maximo Nominal	1"
	Nº 40	0.426	0.73	22.93	88.4	11.61	-	-	Módulo de Fineza	5.58
	Nº 50	0.297	0.64	18.07	90.8	9.18	3	20	% según analisis del Agregado Global	
	Nº 60	0.250	0.56	14.66	92.5	7.47	-	-	% del Agregado Grueso	51.0
	Nº 80	0.177	0.46	10.41	94.7	5.34	-	-	% del Agregado fino	49.0
	Nº 100	0.149	0.42	9.34	95.2	4.79	-	-		
	Nº 200	0.075	0.32	5.60	97.1	2.91	-	-		

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GLOBAL



APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Región : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURIN

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO

Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

AGREGADO FINO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,400.0	7,390.0	7,410.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,634.0	4,624.0	4,644.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,636	1,633	1,640
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,636		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,710.0	7,780.0	7,830.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,944.0	5,014.0	5,064.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,746	1,771	1,788
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,768		
AGREGADO GRUESO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	20,310.0	20,530.0	20,470.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	12,971.0	13,191.0	13,131.0
D Volumen del Molde (cm ³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,372	1,396	1,389
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,386		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	21,300.0	21,290.0	21,240.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13,961.0	13,951.0	13,901.0
D Volumen del Molde (cm ³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,477	1,476	1,471
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,475		

Asociacion Covadonga Mz P-2 lote 8 - Ayacucho, Cel: 999402095, RPM: #893444, FIJO: 066318525, INGEOTECVPO@HOTMAIL.COM

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71230

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO
 Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO
 Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	478,80	423,90		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	489,30	431,30		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	300,00	265,60		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.53	2.56		2.54
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.58	2.60		2.59
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.68	2.68		2.68
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	2.19	1.75		1.97

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	115.10	60.72		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	656.07	345.15		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	730.12	384.33		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	127.86	64.10		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.41	2.44		2.42
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.55	2.57		2.56
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.80	2.82		2.81
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	5.87	5.57		5.72

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	53.97
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	46.03
Gravedad especifica de los sólidos	2.49

Asociacion Covadonga Mz P-2 lote 8 - Ayacucho, Cel: 999402095, RPM: #893444, FIJO: 066318525, INGEOTECVPO@HOTMAIL.COM

INGEOTECÓN

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



Proyecto	: "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"		
Solicitante	: CONSORCIO CONASSA	Region	: AYACUCHO
Cantera	: MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)	Provincia	: HUAMANGA
Material	: AGREGADO GRUESO Y FINO	Distrito	: JESUS NAZARENO
Fecha	: ABRIL DE 2014	Lugar	: JESUS NAZARENO

PORCENTAJE DE VACIOS			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,386	1,636
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,475	1,768
C	Gravedad Especifica de Masa	2.54	2.42
D	Peso de los Solidos (gr)	2,544	2,422
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		45.5	32.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		42.0	27.0
CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	119.67	124.66
B	Peso Seco de la muestra (gr)	118.56	123.54
C	Peso del agua en la muestra (gr)	1.11	1.12
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.94	0.91
Contenido de Humedad (%)			0.92
Absorcion Efectiva (%)			1.25
Humedad Superficial (%)			-
IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	77.95	67.51
B	Peso Seco de la muestra (gr)	75.40	65.31
C	Peso del agua en la muestra (gr)	2.55	2.20
D	% de absorcion		3.95
Contenido de Humedad (%)		3.38	3.37
Contenido de Humedad (%)			3.38
Absorcion Efectiva (%)			0.57
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

Asociacion Covadonga Mz P-2 lote 8 - Ayacucho, Cel: 999402095, RPM: #893444, FIJO: 066318525, INGEOTECVPO@HOTMAIL.COM

INGEOTECON
 ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71238



DISEÑOS

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

DATOS DE LOS AGREGADOS		
CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	: MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)	: MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)
MATERIAL	: PIEDRA CHANCADA	: ARENA
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUS (kg/m ³)	1386	1636
PUCS (kg/m ³)	1475	1768
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.54	2.42
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.68	2.81
ABSORCION (%)	1.97	5.72
HUMEDAD (%)	0.92	3.38
MODULO DE FINEZA	7.77	3.31
TAMAÑO MAXIMO	1 1/2 "	--
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1 "	--
PUSH (kg/m ³)	1399	1692

DATOS DEL CEMENTO	
MARCA	ANDINO
TIPO	PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.12

INGEOTECON
 ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 087-1122

RESISTENCIA PROMEDIO f _{cr}			
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²)	280	f _{cr} =	364 kg/cm ²
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²)	245	f _{cr} =	329 kg/cm ²
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²)	210	f _{cr} =	294 kg/cm ²
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²)	175	f _{cr} =	245 kg/cm ²
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²)	140	f _{cr} =	210 kg/cm ²

ASENTAMIENTO		
MEZCLA SECA	0"-2"	
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA 3'-4' PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"	

CONTENIDO DE AIRE			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1.00 "	AIRE ATRAPADO	1.5 %

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1.00 "		
ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	181 l/m ³

RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO					
f _c (kg/cm ²)	f _{cr} (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg/m ³)	FACTOR CEMENTO (bl/m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO (m ³)
		0.45	402.2	9.5	0.1289
		0.50	362.0	8.5	0.1160
280	364	0.49	370.3	8.7	0.1187
245	329	0.53	342.9	8.1	0.1099
210	294	0.57	316.6	7.4	0.1015
175	245	0.64	282.2	6.6	0.0905
140	210	0.70	259.7	6.1	0.0832

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS

w/c o f'c (kg/cm2)	METODO A.C.I			MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m3)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m3)
0.45	0.675	0.359	0.316	0.335	0.340	0.344	0.331
0.50	0.688	0.359	0.316	0.330	0.358	0.351	0.337
280	0.685	0.359	0.316	0.331	0.354	0.350	0.336
245	0.694	0.359	0.316	0.336	0.358	0.354	0.340
210	0.703	0.359	0.316	0.325	0.378	0.358	0.344
175	0.714	0.359	0.316	0.320	0.394	0.364	0.350
140	0.721	0.359	0.316	0.317	0.404	0.368	0.353

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO= 0.619

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO 3.31

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1.00 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm2)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	9.5	5.52	50.4	49.6
w/c=0.50	8.5	5.45	52.0	48.0
280	8.7	5.47	51.6	48.4
245	8.1	5.42	52.7	47.3
210	7.4	5.37	53.8	46.2
175	6.6	5.31	55.2	44.8
140	6.1	5.27	56.1	43.9

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71239

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso 51.0 %

% del Agregado fino 49.0 %

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	765.8	913.0	181.0	2262.0
	0.50	362.0	765.8	913.0	181.0	2221.8
280		370.3	765.8	913.0	181.0	2230.1
245		342.9	765.8	913.0	181.0	2202.7
210		316.6	765.8	913.0	181.0	2176.4
175		282.2	765.8	913.0	181.0	2142.0
140		259.7	765.8	913.0	181.0	2119.4

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	823.4	852.5	181.0	2259.1
	0.50	362.0	865.9	840.6	181.0	2249.5
280		370.3	857.1	843.1	181.0	2251.5
245		342.9	868.0	853.9	181.0	2245.9
210		316.6	915.2	825.8	181.0	2238.7
175		282.2	953.4	813.8	181.0	2230.4
140		259.7	978.8	805.5	181.0	2225.0

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	801.2	875.8	181.0	2260.2
	0.50	362.0	816.5	892.5	181.0	2252.0
280		370.3	813.3	889.1	181.0	2253.7
245		342.9	823.7	900.5	181.0	2248.1
210		316.6	833.7	911.4	181.0	2242.8
175		282.2	846.8	925.7	181.0	2235.7
140		259.7	855.4	935.1	181.0	2231.2

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	791.6	921.4	208.5	2323.8
	0.50	362.0	791.6	921.4	208.5	2283.5
280		370.3	791.8	921.4	208.5	2291.8
245		342.9	791.6	921.4	208.5	2264.5
210		316.6	791.6	921.4	208.5	2238.2
175		282.2	791.6	921.4	208.5	2203.8
140		259.7	791.6	921.4	208.5	2181.2

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	851.1	860.4	209.2	2323.0
	0.50	362.0	895.2	848.3	210.1	2315.6
280		370.3	886.0	850.9	209.9	2317.1
245		342.9	897.3	861.8	210.3	2312.4
210		316.6	946.1	833.5	211.1	2307.3
175		282.2	985.6	821.3	211.9	2301.0
140		259.7	1011.8	812.9	212.7	2296.8

ING. VICTOR PORTAL QUIGANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71239

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	828.2	883.9	209.0	2323.3
	0.50	362.0	844.0	900.8	209.5	2316.3
280		370.3	840.8	897.3	209.4	2317.7
245		342.9	851.5	908.7	209.7	2313.0
210		316.6	861.9	919.8	210.1	2308.4
175		282.2	875.4	934.2	210.6	2302.4
140		259.7	884.3	943.7	210.9	2298.5

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)

f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	812.3	864.2	181.0	2259.6
	0.50	362.0	841.2	866.6	181.0	2250.8
280		370.3	835.2	866.1	181.0	2252.6
245		342.9	845.9	877.2	181.0	2247.0
210		316.6	874.5	868.6	181.0	2240.7
175		282.2	900.1	869.7	181.0	2233.1
140		259.7	917.1	870.3	181.0	2228.1

DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
	0.45	1.00	2.02	2.15	19.1
	0.50	1.00	2.32	2.39	21.3
280		1.00	2.26	2.34	20.8
245		1.00	2.47	2.56	22.4
210		1.00	2.76	2.74	24.3
175		1.00	3.19	3.08	27.3
140		1.00	3.53	3.35	29.6

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)

f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	839.7	872.1	209.1	2323.1
	0.50	362.0	869.6	874.5	209.8	2315.9
280		370.3	863.4	874.1	209.7	2317.4
245		342.9	874.4	885.3	210.0	2312.7
210		316.6	904.0	876.6	210.6	2307.8
175		282.2	930.5	877.8	211.2	2301.7
140		259.7	948.1	878.3		

INGEOTECON
 ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN DISEÑO DE CONCRETOS
 Cel: 71239

APÉNDICE A. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : *CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO*

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO
 Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO
 Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
	0.45	1.00	2.09	2.17	22.1
	0.50	1.00	2.40	2.42	24.6
280		1.00	2.33	2.36	24.1
245		1.00	2.55	2.58	26.0
210		1.00	2.86	2.77	28.3
175		1.00	3.30	3.11	31.8
140		1.00	3.65	3.38	34.6

DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.85	2.33	22.1
Durabilidad	0.50	1.0	2.13	2.59	24.6
280	Resistencia	1.0	2.07	2.53	24.1
245	Resistencia	1.0	2.26	2.77	26.0
210	Resistencia	1.0	2.53	2.97	28.3
175	Resistencia	1.0	2.92	3.34	31.8
140	Resistencia	1.0	3.24	3.63	34.6

DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f _c (kg/cm ²)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.7	2.5	19.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.0	2.8	21.0
280	Resistencia	1.0	1.9	2.7	21.0
245	Resistencia	1.0	2.1	3.0	22.5
210	Resistencia	1.0	2.4	3.2	24.0
175	Resistencia	1.0	2.8	3.6	27.0
140	Resistencia	1.0	3.1	3.9	29.5

INGEOTECON

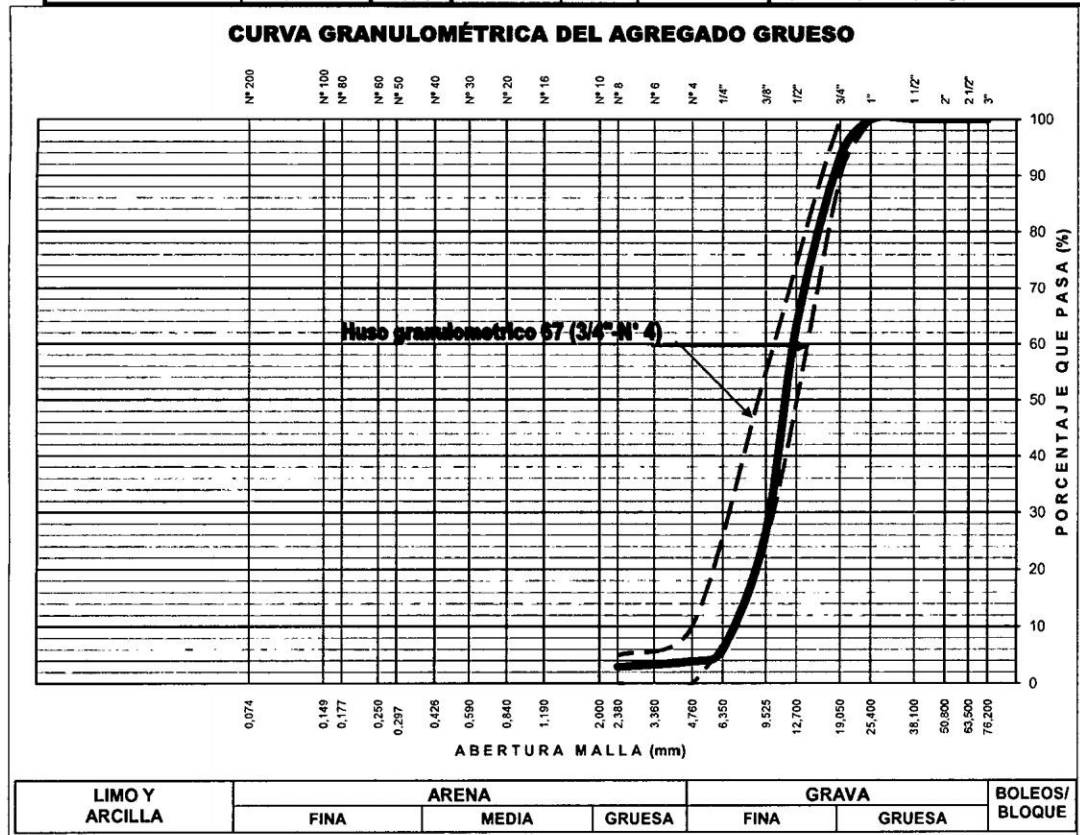
ING. VICTOR PORTAL-QUICANA
 CONSULTOR EN INGENIERIA Y CONCRETO
 CIP: 71239

Apéndice B

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

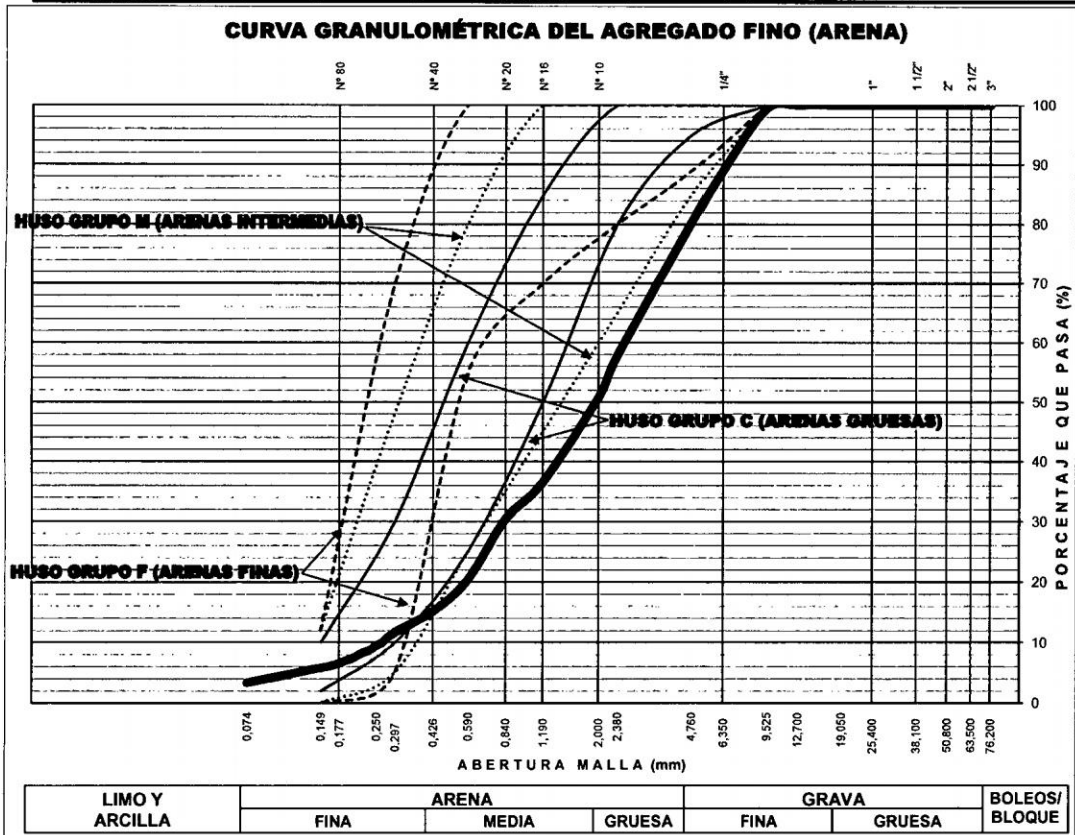
APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECÓN		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)								
Proyecto	: TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".									
Solicitante	: BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA				Region	: AYACUCHO				
Cantera	: MUYURINA				Provincia	: HUAMANGA				
Material	: PIEDRA CHANCADA				Distrito	: AYACUCHO				
Fecha	: AGOSTO DE 2014				Lugar	: AYACUCHO				
TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 67 (3/4" N° 4)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	-	-	100.00		PESOS (gr)			
	2 1/2"	63.500	-	-	100.00		Peso seco inicial	7221.4		
	2"	50.800	-	-	100.00		Peso seco lavado	7120.8		
	1 1/2"	38.100	-	-	100.00		Pérdida por lavado	100.6		
	1"	25.400	-	-	100.00	100 - 100	ENSAYOS ESTÁNDAR			
	3/4"	19.050	482.44	6.68	6.68	93.32	90 - 100	% Grava	96.1	
	1/2"	12.700	2,169.76	30.05	36.73	63.27		% Arena	2.5	
	3/8"	9.525	2,654.42	36.76	73.48	26.52	25 - 55	% de Finos	1.4	
	1/4"	6.350	1,487.30	20.60	94.08	5.92		D ₁₀ = D _{ef(mm)} =	6.9789	
	N° 4	4.760	149.02	2.06	96.14	3.86	0 - 10	D _{30(mm)} =	9.8260	
	N° 8	2.380	68.22	0.94	97.09	2.91	0 - 5	D _{60(mm)} =	12.4173	
	N° 10	2.000	14.64	0.20	97.29	2.71		Cu =	1.78	
	N° 16	1.190	23.64	0.33	97.62	2.38		Cc =	1.11	
	N° 20	0.840	10.90	0.15	97.77	2.23		D _{15(mm)} =	7.7497	
	N° 30	0.590	14.62	0.20	97.97	2.03		D _{50(mm)} =	11.5535	
	N° 40	0.426	8.02	0.11	98.08	1.92		D _{85(mm)} =	17.2918	
	N° 50	0.297	5.86	0.08	98.16	1.84		Clasificación SUCS	GP	
	N° 60	0.250	5.22	0.07	98.24	1.76		GRAVA MAL GRADUADA		
	N° 80	0.177	7.30	0.10	98.34	1.66		Tamaño Maximo (Pulg)*	1	
	N° 100	0.149	4.70	0.07	98.40	1.60		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)*	3/4	
N° 200	0.075	15.00	0.21	98.61	1.39		Gravedad específica	--		
Lavado		100.60	1.39	100.00	-0.00		Módulo de Fineza	6.66		
TOTAL		7221.7	100.0				Superficie específica (cm ² /gr)	--		



APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECON		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (MTC E 204-2000)					
Proyecto		: TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".					
Solicitante		: BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA			Region : AYACUCHO		
Cantera		: MUURINA			Provincia : HUAMANGA		
Material		: ARENA			Distrito : AYACUCHO		
Fecha		: AGOSTO DE 2014			Lugar : AYACUCHO		
TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. LIM. TOTAL	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	-	-	100.00		PESOS (gr) Peso seco inicial 3610.0 Peso seco lavado 3489.6 Pérdida por lavado 120.4
	2 1/2"	63.500	-	-	100.00		
	2"	50.800	-	-	100.00		
	1 1/2"	38.100	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR
	1"	25.400	-	-	100.00		
	3/4"	19.050	-	-	100.00		D ₁₀ = D _{e(mm)} = 0.2637
	1/2"	12.700	-	-	100.00		D ₃₀ = 0.8303
	3/8"	9.525	19.88	0.55	0.55	99.45	D _{60(mm)} = 2.6144
	1/4"	6.350	375.70	10.41	10.96	89.04	Cu = 9.92
	Nº 4	4.760	314.94	8.72	19.68	80.32	Cc = 1.00
	Nº 8	2.380	813.62	22.54	42.22	57.78	D _{15(mm)} = 0.4211
	Nº 10	2.000	257.08	7.12	49.34	50.66	D _{50(mm)} = 1.9623
	Nº 16	1.190	511.08	14.16	63.50	36.50	D _{85(mm)} = 5.6133
	Nº 20	0.840	220.56	6.11	69.61	30.39	Clasificación SUCS SW
	Nº 30	0.590	363.74	10.08	79.68	20.32	ARENA BIEN GRADUADA CON GRAVA
	Nº 40	0.426	187.20	5.19	84.87	15.13	
	Nº 50	0.297	125.72	3.48	88.35	11.65	Módulo de Fineza 3.88
	Nº 60	0.250	83.88	2.32	90.67	9.33	Superficie específica (cm ² /gr) --
Nº 80	0.177	101.78	2.82	93.49	6.51		
Nº 100	0.149	24.42	0.68	94.17	5.83		
Nº 200	0.075	90.04	2.49	96.66	3.34		
Lavado		120.40	3.34	100.00	0.00		
TOTAL		3,610.04	100.00				



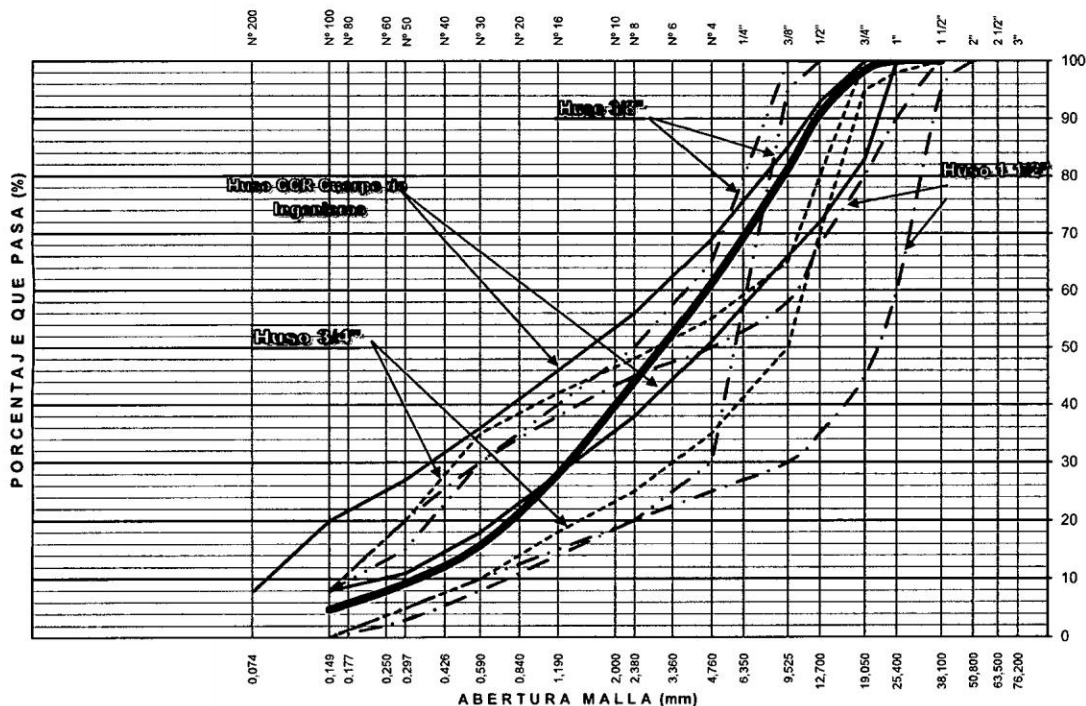
APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECON ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GLOBAL

Proyecto : TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".
 Solicitante : BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA
 Cantera : MIYURINA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO
 Fecha : AGOSTO DE 2014
 Region : AYACUCHO
 Provincia : HUAMANGA
 Distrito : AYACUCHO
 Lugar : AYACUCHO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	% PASA (A. GRUESO)	% PASA (A. FINO)	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. HUSO CCR	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
									RESULTADOS
3"	76.200	100.00	100.00	0.0	100.00			% Grava	38.8
2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.0	100.00			% Arena	58.4
2"	50.800	100.00	100.00	0.0	100.00			% de Finos	2.8
1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.0	100.00			D ₁₀ = D _{ef(mm)} =	0.3364
1"	25.400	100.00	100.00	0.0	100.00	100 - 100		D _{30(mm)} =	1.3435
3/4"	19.050	93.32	100.00	1.7	98.33	83 - 100		U _{60(mm)} =	4.5930
1/2"	12.700	63.27	100.00	9.2	90.82	72 - 93		Cu =	13.7
3/8"	9.525	26.52	99.45	18.8	81.22	66 - 85		Cc =	1.2
1/4"	6.350	5.92	89.04	31.7	68.26			D _{15(mm)} =	0.5588
Nº 4	4.760	3.86	80.32	38.8	61.20	51 - 69		D _{50(mm)} =	3.2044
Nº 8	2.380	2.91	57.78	55.9	44.06	38 - 56		D _{85(mm)} =	10.7762
Nº 10	2.000	2.71	50.66	61.3	38.67			Clasificación SUCS	GP
Nº 16	1.190	2.38	36.50	72.0	27.97	28 - 46		GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA	
Nº 20	0.840	2.23	30.39	76.6	23.35			Tamaño Maximo	1"
Nº 30	0.590	2.03	20.32	84.3	15.74	18 - 36		Tamaño Maximo Nominal	1/2"
Nº 40	0.426	1.92	15.13	88.2	11.83			Módulo de Fineza	4.58
Nº 50	0.297	1.84	11.65	90.8	9.20	11 - 27		% según analisis del Agregado Global	
Nº 60	0.250	1.76	9.33	92.6	7.43			% del Agregado Grueso	25.0
Nº 80	0.177	1.66	6.51	94.7	5.30	8 - 20		% del Agregado fino	75.0
Nº 100	0.149	1.60	5.83	95.2	4.77				
Nº 200	0.075	1.39	3.34	97.2	2.85	2 - 8			

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GLOBAL



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECON **PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557) METODO C**

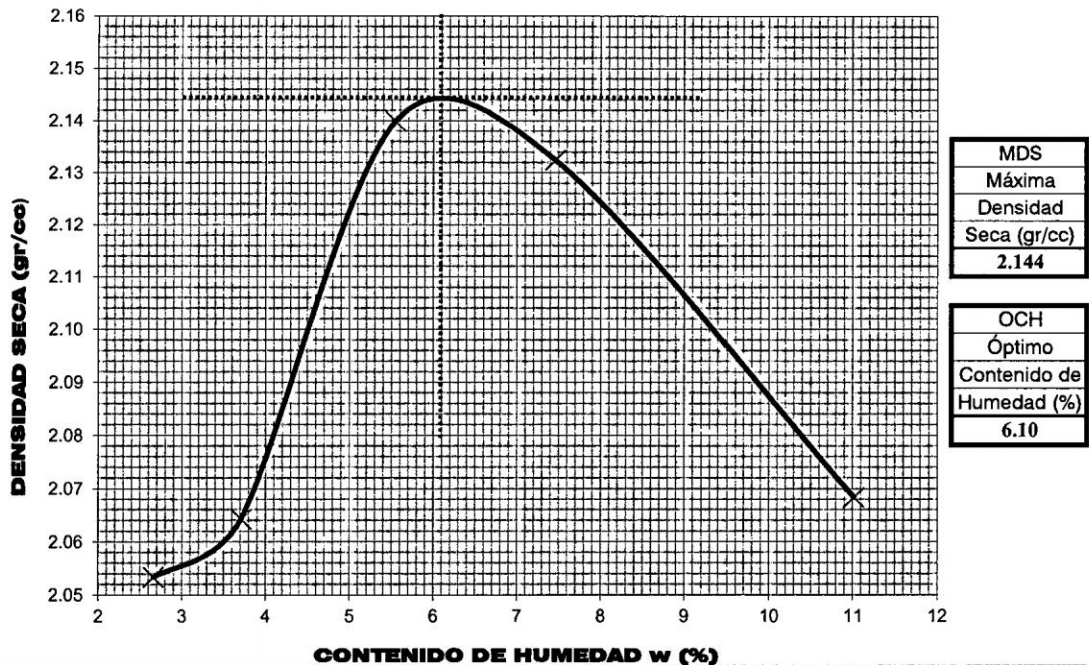
Proyecto : TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".

Solicitante	: BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA	Región	: AYACUCHO
Cantera	: MUYURINA	Provincia	: HUAMANGA
Material	: AG + AF + 12% CEMENTO (ANDINO TIPO I)	Distrito	: AYACUCHO
Fecha	: AGOSTO DE 2014	Lugar	: AYACUCHO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Determinación N°		01	02	03	04	05
Peso del molde y muestra	gr	10,530.0	10,600.0	10,850.0	10,920.0	10,930.0
Peso del molde	gr	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2
Peso de la muestra compacta	gr	4,479.8	4,549.8	4,799.8	4,869.8	4,879.8
Volumen del molde	cc	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1
Densidad húmeda	gr/cc	2.11	2.14	2.26	2.29	2.30
Densidad seca	gr/cc	2.05	2.06	2.14	2.13	2.07

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tarro N°		28.0	52.0	85.0	53.0	83.0
Peso del tarro	gr	68.10	71.76	51.00	69.18	46.48
Peso tarro + suelo húmedo	gr	499.71	607.24	507.34	582.86	562.25
Peso de tarro + suelo seco	gr	488.52	588.08	483.35	547.20	511.07
Peso del agua	gr	11.19	19.16	23.99	35.66	51.18
Peso del suelo seco	gr	420.42	516.32	432.35	478.02	464.59
Contenido de humedad	%	2.66	3.71	5.55	7.46	11.02

CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECON **PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557) METODO C**

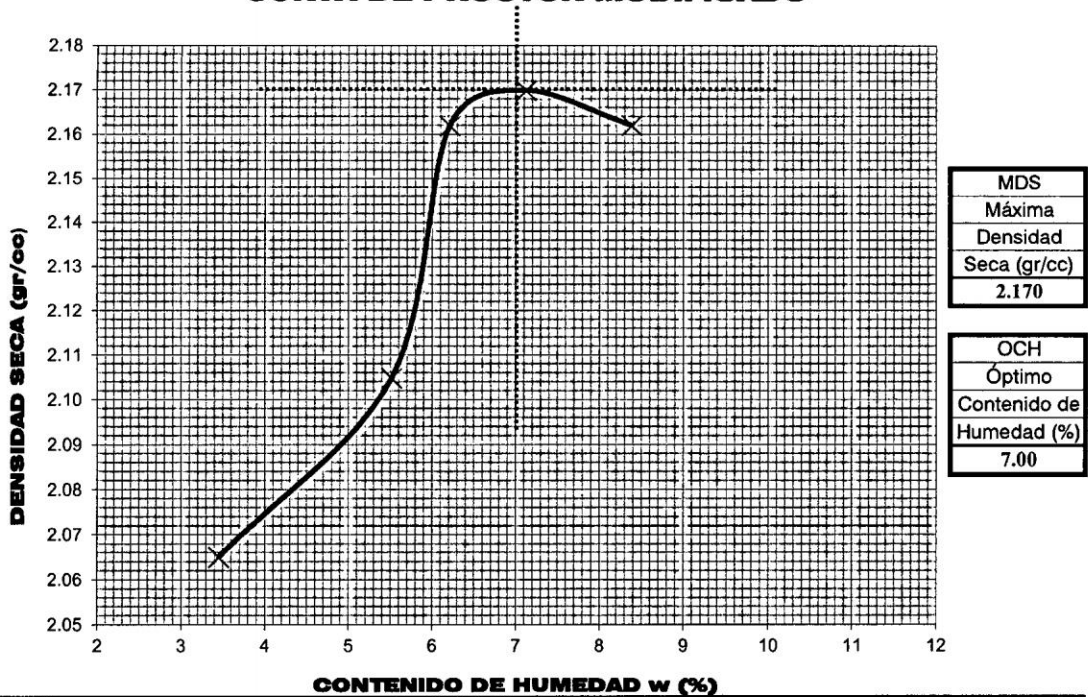
Proyecto : TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".

Solicitante	: BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA	Región	: AYACUCHO
Cantera	: MUJURINA	Provincia	: HUAMANGA
Material	: AG + AF + 14% CEMENTO (ANDINO TIPO I)	Distrito	: AYACUCHO
Fecha	: AGOSTO DE 2014	Lugar	: AYACUCHO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Determinación N°		01	02	03	04	05
Peso del molde y muestra	gr	10,590.0	10,770.0	10,930.0	10,990.0	11,030.0
Peso del molde	gr	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2
Peso de la muestra compacta	gr	4,539.8	4,719.8	4,879.8	4,939.8	4,979.8
Volumen del molde	cc	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1
Densidad húmeda	gr/cc	2.14	2.22	2.30	2.32	2.34
Densidad seca	gr/cc	2.06	2.10	2.16	2.17	2.16

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tarro N°		29.0	48.0	52.0	28.0	53.0
Peso del tarro	gr	70.40	71.11	71.76	68.10	69.18
Peso tarro + suelo húmedo	gr	466.33	459.51	421.86	471.60	497.70
Peso de tarro + suelo seco	gr	453.12	439.20	401.39	444.77	464.55
Peso del agua	gr	13.21	20.31	20.47	26.83	33.15
Peso del suelo seco	gr	382.72	368.09	329.63	376.67	395.37
Contenido de humedad	%	3.45	5.52	6.21	7.12	8.38

CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



APÉNDICE B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
EL DISEÑO DE MEZCLA CCR

INGEOTECON **PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557) METODO C**

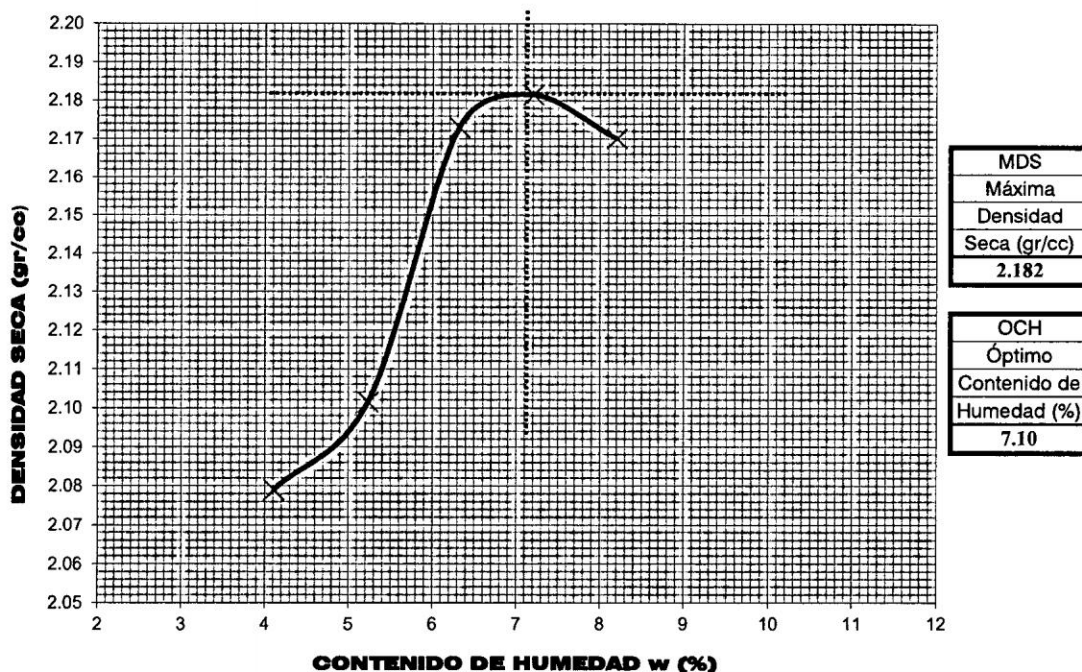
Proyecto : TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".

Solicitante : BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA	Región : AYACUCHO
Cantera : MUYURINA	Provincia : HUAMANGA
Material : AG + AF + 16% CEMENTO (ANDINO TIPO I)	Distrito : AYACUCHO
Fecha : AGOSTO DE 2014	Lugar : AYACUCHO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Determinación Nº		01	02	03	04	05
Peso del molde y muestra	gr	10,650.0	10,750.0	10,960.0	11,020.0	11,040.0
Peso del molde	gr	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2	6,050.2
Peso de la muestra compacta	gr	4,599.8	4,699.8	4,909.8	4,969.8	4,989.8
Volumen del molde	cc	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1	2,125.1
Densidad húmeda	gr/cc	2.16	2.21	2.31	2.34	2.35
Densidad seca	gr/cc	2.08	2.10	2.17	2.18	2.17

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tarro Nº		28.0	52.0	85.0	53.0	83.0
Peso del tarro	gr	68.10	71.76	51.00	69.18	46.48
Peso tarro + suelo húmedo	gr	432.44	473.79	556.92	505.78	542.88
Peso de tarro + suelo seco	gr	418.05	453.79	526.85	476.45	505.26
Peso del agua	gr	14.39	20.00	30.07	29.33	37.62
Peso del suelo seco	gr	349.95	382.03	475.85	407.27	458.78
Contenido de humedad	%	4.11	5.24	6.32	7.20	8.20

CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



Apéndice C

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CCR

APÉNDICE C. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DE CCR



INGEOTECON
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO
NORMAS ASTM C 39 / MTC E 704 - 2000

PROYECTO	: TESIS "EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LOS PAVIMENTOS: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO".		
SOLICITA	: BACH. CIRO LUIS TOVAR POMA		
RESPONSABLES	_____	REGIÓN	: AYACUCHO
	_____	PROVINCIA	: HUAMANGA
MUESTRA	: TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO	DISTRITO	: AYACUCHO
FECHA INFORME	: SETIEMBRE DEL 2014	LUGAR	: AYACUCHO

Nº	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	DIÁMETRO ESPECIM. (cm)	ALTURA DEL ESPECIM. (cm)	PESO DEL ESPECIM. (kg)	PESO UNITARIO APARENTE (tn/m3)	LECTURA DIGITAL (KN)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Mpa)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Kg/cm2)
1	CONTENIDO CEMENTO 12%	14/08/14	21/08/14	7	15.23	30.50	13.060	2.35	410.41	22.53	229.72
2	CONTENIDO CEMENTO 12%	14/08/14	21/08/14	7	15.33	30.60	13.090	2.32	388.34	21.04	214.54
3	CONTENIDO CEMENTO 12%	14/08/14	11/09/14	28	15.28	30.78	13.110	2.32	474.43	25.87	264.09
4	CONTENIDO CEMENTO 12%	14/08/14	11/09/14	28	15.20	30.67	13.140	2.36	470.80	25.95	265.10
5	CONTENIDO CEMENTO 14%	15/08/14	22/08/14	7	15.36	30.26	13.090	2.33	435.22	23.49	240.22
6	CONTENIDO CEMENTO 14%	15/08/14	22/08/14	7	15.17	30.30	12.990	2.37	461.59	25.54	261.46
7	CONTENIDO CEMENTO 14%	15/08/14	12/09/14	28	15.38	30.60	13.310	2.34	659.86	35.52	363.99
8	CONTENIDO CEMENTO 14%	15/08/14	12/09/14	28	15.40	30.70	13.490	2.36	648.96	34.84	357.41
9	CONTENIDO CEMENTO 16%	15/08/14	22/08/14	7	15.22	30.56	13.180	2.37	484.92	26.65	273.69
10	CONTENIDO CEMENTO 16%	15/08/14	22/08/14	7	15.31	30.47	13.090	2.33	478.31	25.98	267.06
11	CONTENIDO CEMENTO 16%	15/08/14	12/09/14	28	15.30	30.50	13.120	2.34	684.74	37.24	383.20
12	CONTENIDO CEMENTO 16%	15/08/14	12/09/14	28	15.35	30.61	13.200	2.33	697.22	37.68	388.03

OBSERVACIONES

- Los testigos de concreto han sido elaborados y curados en el laboratorio.

Apéndice D

RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO

**APÉNDICE D. RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN
APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO**

Presupuesto

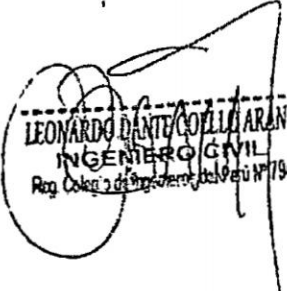
Presupuesto **0403012 CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO.**
 Cliente **MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JESUS NAZARENO** Costo al **18/06/2012**
 Lugar **AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	OBRAS PROVISIONALES				3,682.23
01.01	CARTEL DE OBRA (INC. INSTALACION)	u	1.00	970.38	970.38
01.02	ALQUILER DE LOCAL PARA LA OBRA	mes	5.00	542.37	2,711.85
02	TRABAJOS PRELIMINARES				71,534.53
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO NORMAL	m2	24,857.84	0.47	11,683.18
02.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS	gb	1.00	2,542.37	2,542.37
02.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	24,857.84	0.94	23,366.37
02.04	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	24,857.84	1.17	29,083.67
02.05	REUBICACION DE POSTES DE ALUMBRADO Y TELEFONIA	u	34.00	142.91	4,858.94
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				487,335.91
03.01	CORTE EN MATERIAL COMPACTO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	13,218.88	5.01	66,226.59
03.02	RELLENO CON MATERIAL PROPIO SELECCIONADO	m3	774.40	3.39	2,625.22
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA	m3	16,177.82	12.44	201,252.08
03.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	17,894.78	0.93	16,542.15
03.05	REEMPLAZO DE SUBRASANTE CON MATERIAL PROPIO SELECCIONADO	m3	1,487.27	11.92	17,728.26
03.06	CONFORMACION Y COMPACTACION DE BASE GRANULAR E=0.20M	m2	16,791.70	10.89	182,861.61
04	PAVIMENTO				996,705.45
04.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE PAVIMENTO	m2	2,440.16	24.60	60,027.94
04.02	CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ² PARA PAVIMENTO E=0.20 M.	m2	15,137.09	58.75	889,304.04
04.03	CURADO DE CONCRETO	m2	15,137.09	0.78	11,806.93
04.04	JUNTAS ASFALTICAS	m	6,685.44	5.32	35,566.54
05	VEREDAS Y RAMPAS				355,584.50
05.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				119,338.05
05.01.01	DEMOLICION DE VEREDAS EXISTENTES	m2	54.00	23.64	1,276.56
05.01.02	EXCAVACION MANUAL DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	663.66	21.35	14,169.14
05.01.03	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE EN CARRETILLA (50m)	m3	862.76	41.44	35,752.77
05.01.04	NIVELACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CON EQUIPO LIVIANO	m2	6,636.63	1.48	9,822.21
05.01.05	CONFORMACION Y COMPACTACION DE BASE E=0.10M.	m2	6,636.63	7.17	47,584.64
05.01.06	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA	m3	862.76	12.44	10,732.73
05.02	OBRAS DE CONCRETO				236,246.45
05.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VEREDAS	m2	227.09	21.83	4,957.37
05.02.02	CONCRETO $f_c=175$ kg/cm ² EN VEREDAS E=0 10 M	m2	6,636.63	32.25	214,031.32
05.02.03	JUNTAS ASFALTICAS	m	2,270.90	5.32	12,081.19
05.02.04	CURADO DE CONCRETO	m2	6,636.63	0.78	5,176.57
06	SARDINEL DE CONCRETO				261,574.59
06.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				18,734.25
06.01.01	EXCAVACION DE ZANJA PARA SARDINEL	m3	222.41	14.57	3,240.51
06.01.02	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE EN CARRETILLA (50m)	m3	287.56	41.44	11,916.49
06.01.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA	m3	287.56	12.44	3,577.25
06.02	CONCRETO SIMPLE				242,840.34
06.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE SARDINEL	m2	4,151.58	24.60	102,128.87
06.02.02	CONCRETO DE $f_c=175$ kg/cm ² , EN SARDINEL	m3	489.29	267.09	130,684.47
06.02.03	CURADO DE CONCRETO	m2	5,041.20	0.78	3,932.14
06.02.04	JUNTAS ASFALTICAS	m	1,145.65	5.32	6,094.86
07	CUNETAS DE CONCRETO				21,298.60
07.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				4,962.20
07.01.01	EXCAVACION DE ZANJA PARA CUNETAS	m3	58.64	14.57	854.38
07.01.02	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE EN CARRETILLA (50m)	m3	76.24	41.44	3,159.39
07.01.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA	m3	76.24	12.44	948.43
07.02	CONCRETO SIMPLE				16,336.40

**APÉNDICE D. RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN
Presupuesto APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO**

Presupuesto 0403012 CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO.
 Cliente MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JESUS NAZARENO Costo al 18/06/2012
 Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
15 01 04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1 00	1,800.77	1,800.77
15 01.05	CAPACITACION DE SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,033.88	1,033.88
15.02	LIMPIEZA GENERAL				9,694.56
15.02.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	24,857.84	0.39	9,694.56
	COSTO DIRECTO				3,061,600.48
	GASTOS GENERALES (8.00% CD)				244,928.04
	UTILIDAD (7.00% CD)				214,312.03
	SUB_TOTAL				3,520,840.55
	IGV (18.00% ST)				633,751.30
	PRESUPUESTO TOTAL				4,154,591.85
	GASTOS DE SUPERVISION (2.50% PT)				103,864.80
	COSTO TOTAL DEL PROYECTO				4,258,456.65


LEONARDO DANTE COLLA ARANGO
INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegiación de Ingenieros del Perú N° 79403

**APÉNDICE D. RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN
APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO**

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403012 CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO.
Subpresupuesto 001 EXPEDIENTE CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO. Fecha presupuesto 18/06/2012

Partida 03.05 CONFORMACION Y COMPACTACION DE BASE GRANULAR E=0.20M.

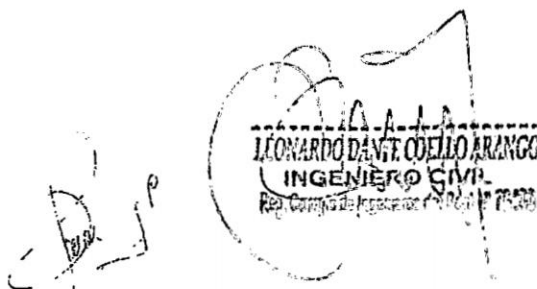
Rendimiento m2/DIA MO. 700.0000 EQ. 700.0000 Costo unitario directo por : m2 10.89

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.00114	9.23	0.01
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.01143	7.42	0.08
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.04571	6.94	0.32
0.41						
Materiales						
0205010013	MATERIAL CLASIFICADO PARA BASE	m3		0.26000	29.66	7.71
0239050000	AGUA	m3		0.02900	0.42	0.01
7.72						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00000	0.41	0.02
0348040003	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	0.1500	0.00171	76.27	0.13
0349030007	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	hm	0.5000	0.00571	152.54	0.87
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.01143	152.54	1.74
2.76						

Partida 04.01 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE PAVIMENTO

Rendimiento m2/DIA MO. 15.0000 EQ. 15.0000 Costo unitario directo por : m2 24.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.05333	9.23	0.49
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.53333	8.44	4.50
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.53333	7.42	3.96
0147010004	PEON	hh	0.5000	0.26667	6.94	1.85
10.80						
Materiales						
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16	kg		0.26000	3.81	0.99
0202010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.15000	3.81	0.57
0203020004	ESTACAS DE FIERRO DE Ø1/2"	kg		0.12000	3.81	0.46
0245010001	MADERA TORNILLO INCLUYE CORTE PARA ENCOFRADO	p2		3.56000	3.22	11.46
13.48						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00000	10.80	0.32
0.32						

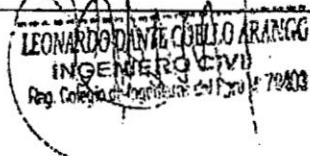


LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO SVP.
 Reg. Comp. de Ingeniería N° 10017-1988

**APÉNDICE D. RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO EN
APLICACIÓN Y COSTO UNITARIO**

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0403012	CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO.				Fecha presupuesto	18/06/2012	
Subpresupuesto	001	EXPEDIENTE CONSTRUCCION PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ, DISTRITO DE JESUS NAZARENO -HUAMANGA - AYACUCHO						
Partida	04.02	CONCRETO Fc= 210 kg/cm2 PARA PAVIMENTO E=0.20 M.						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 80.0000	EQ. 80.0000	Costo unitario directo por : m2			58.75	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.02000	9.23	0.18		
0147010002	OPERARIO	hh	4.0000	0.40000	8.44	3.38		
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.20000	7.42	1.48		
0147010004	PEON	hh	8.0000	0.80000	6.94	5.55		
						10.59		
	Materiales							
0205000004	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.12400	52.54	6.51		
0205010004	ARENA GRUESA	m3		0.09600	44.07	4.23		
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		1.97600	17.80	35.17		
0239050000	AGUA	m3		0.03700	0.42	0.02		
						45.93		
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00000	10.59	0.53		
0348010011	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p3	hm	1.0000	0.10000	8.47	0.85		
0349070003	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.10000	8.47	0.85		
						2.23		
Partida	04.03	CURADO DE CONCRETO						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m2			0.78	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.00400	9.23	0.04		
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.04000	6.94	0.28		
						0.32		
	Materiales							
0239020047	YUTE CRUDO	m		1.00000	0.42	0.42		
0239050000	AGUA	m3		0.05000	0.42	0.02		
						0.44		
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00000	0.32	0.02		
						0.02		
Partida	04.04	JUNTAS ASFALTICAS						
Rendimiento	m/DIA	MO. 60.0000	EQ. 60.0000	Costo unitario directo por : m			5.32	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.01333	9.23	0.12		
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.13333	7.42	0.99		
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.26667	6.94	1.85		
						2.96		
	Materiales							
0204000000	ARENA FINA	m3		0.00200	67.79	0.14		
0205010004	ARENA GRUESA	m3		0.01240	44.07	0.55		
0213000006	ASFALTO RC-250	gal		0.13300	11.86	1.58		
						2.27		
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00000	2.96	0.09		
						0.09		



LEONARDO DANIEL CUELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru No. 79803

Apéndice E

COTIZACIÓN DE MANO DE OBRA, MATERIALES Y EQUIPOS

APÉNDICE E. COTIZACIÓN DE MANO DE OBRA, MATERIALES Y EQUIPOS



FEDERACIÓN DE TRABAJADORES EN CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERÚ

Reconocido Oficialmente el 23-08-1962 por Resolución Sub-Directorial N° 56
Afiliado a la CGTP - FLEMACON - UIS

Sede Institucional: Prolongación Caugallo N° 670 - La Victoria
Telefax: 312-2034 / 201-2370 / 201-2371 Cel.: 987515423
E-mail: ftccpco@terra.com.pe
Web: www.ftccperu.com

TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES						
PLIEGO NACIONAL 2013 - 2014						
(Del 01.06.2013 al 31.05.2014)						
OPERARIO				Indemnizac.	vacaciones	
Jornal	52.10	* 6 días	312.60	diario	7.82	5.21
Jornal Dominical	8.68	* 6 días	52.10	semanal	46.89	31.26
BUC 32 %	16.67	* 6 días	100.03			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
Total Salarios			507.93		Fiest. Patri.	Fiest. Navid.
Descuento ONP 13%			60.42	diario	9.92	13.89
Descuento CONAF. 2%			7.29	mensual	297.71	416.8
Pago Neto Semanal			440.22	Total	2084.00	2084.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
OFICIAL				Indemnizac.	vacaciones	
Jornal	44.10	* 6 días	264.60	diario	6.62	4.41
Jornal Dominical	7.35	* 6 días	44.10	semanal	39.69	26.46
BUC 30 %	13.23	* 6 días	79.38			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
Total Salarios			431.28		Fiest. Patri.	Fiest. Navid.
Descuento ONP 13%			50.45	diario	8.40	11.76
Descuento CONAF. 2%			6.17	mensual	252.00	352.8
Pago Neto Semanal			374.66	Total	1764.00	1764.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
PEON				Indemnizac.	vacaciones	
Jornal	39.40	* 6 días	236.40	diario	5.91	3.94
Jornal Dominical	6.57	* 6 días	39.40	semanal	35.46	23.64
BUC 30 %	11.82	* 6 días	70.92			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
Total Salarios			389.92		Gratific.	Fiest. Patri.
Descuento ONP 13%			45.07	diario	7.50	10.51
Descuento CONAF. 2%			5.52	mensual	225.14	315.2
Pago Neto Semanal			339.33	Total	1576.00	1576.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
Asignación Escolar por un hijo			HORAS EXTRAS			
	diario	mensual	Simples	60%	100%	Indemniz.
OPERARIO	4.34	130.25	6.51	10.42	13.03	0.98
OFICIAL	3.68	110.25	5.51	8.82	11.03	0.83
PEON	3.28	98.50	4.93	7.88	9.85	0.74



Ayacucho, 25 de Setiembre del 2014.

CARTA N° 028-2014-CONCRETE-LOS-ANDES-SAC/AYACUCHO.

SEÑOR:
ING. CIRO LUIS TOVAR POMA

Presente.-

ASUNTO : Cotización Venta De Concreto Premezclado

Referencia : "Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villas San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, Distrito Jesús Nazareno-Provincia Huamanga-Ayacucho".

De nuestra mayor consideración:

Nos es grato dirigirnos a Uds., para saludarlo muy cordialmente y presentarles nuestra empresa **CONCRETE LOS ANDES SAC**; asimismo remitir cotización de Concreto Premezclado:

Descripción	Und.	Precio no Incluye IGV
Concreto Premezclado f'c 210 kg/cm ²	m ³	S/. 231.75

Nota: La dosificación realizada de acuerdo a solicitud del interesado.

CUENTA CORRIENTE BBVA SOLES: 0011-0202-0100015224.

Sin otro en particular y agradeciendo anticipadamente por la atención prestada a la presente, hago propicia esta oportunidad para reiterar mis más altas muestras de aprecio y estima personal.

Atentamente,

Marco Erix Galindo Aguirre
GERENTE GENERAL

C.c.
Archivo

APÉNDICE E. COTIZACIÓN DE MANO DE OBRA, MATERIALES Y EQUIPOS

Norvic EIRL
 VENTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS EN GENERAL
 SECAJALAS, ZAPATOS Y ARTICULOS DE SEGURIDAD
 Av. 26 de Enero N° 558 - Telefax: (085) 312525 - Ayacucho
 RPM: #225633 / #225632 / #932071
 CEL: (056) 900373355 / 906673354 / 906650341
 E-mail: Norviceir@hotmail.com

R.U.C. 20452505551

PROFORMA

001 - N° 003801

Logos: BELLOTA, HANLEY, REX, SIDERPERU, Chema, PAVCO, SIDERPERU, ACEROS AREQUIPA, CELIMA, Kroll.

Fecha: 29 / 9 / 2014 Doc. 0001
 Sector: Prefecto Ulla San Cristobal
 Dirección:

CANT	DESCRIPCION	UNID	VALOR
01	glu obtura junta flexible de poliuuretano A+B		240.00
01	mt. bocker rod. 1/2		4.50
01	mt. bocker rod. 5/8		6.00

De: W. Ivier Arcahuas Bermudez
 Cel: 952135228
 RUC: 194604379157
 Jr. Libertad N° 800 / Ayacucho
 Serie: 072 del 2001 al 4200
 Act. Impresión: 6532949123
 Fecha de Impresión: 15-05-2013

NORVIC EIRL
 R.U.C. 20452505551
 Av. 26 de Enero 558
 Ayacucho
 Norma Sulea Quispe

TOTAL S/:

Apéndice F

PANEL FOTOGRAFÍCO

F.1. Análisis Granulométrico de los Agregados

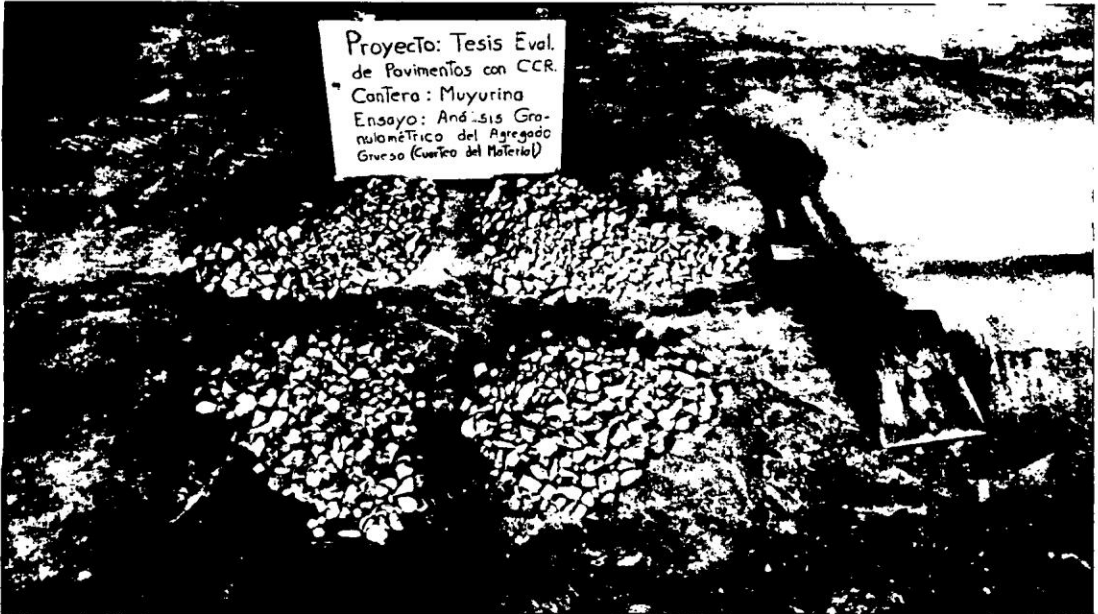


Figura F.1: Mezclado y cuarteo manual del agregado grueso

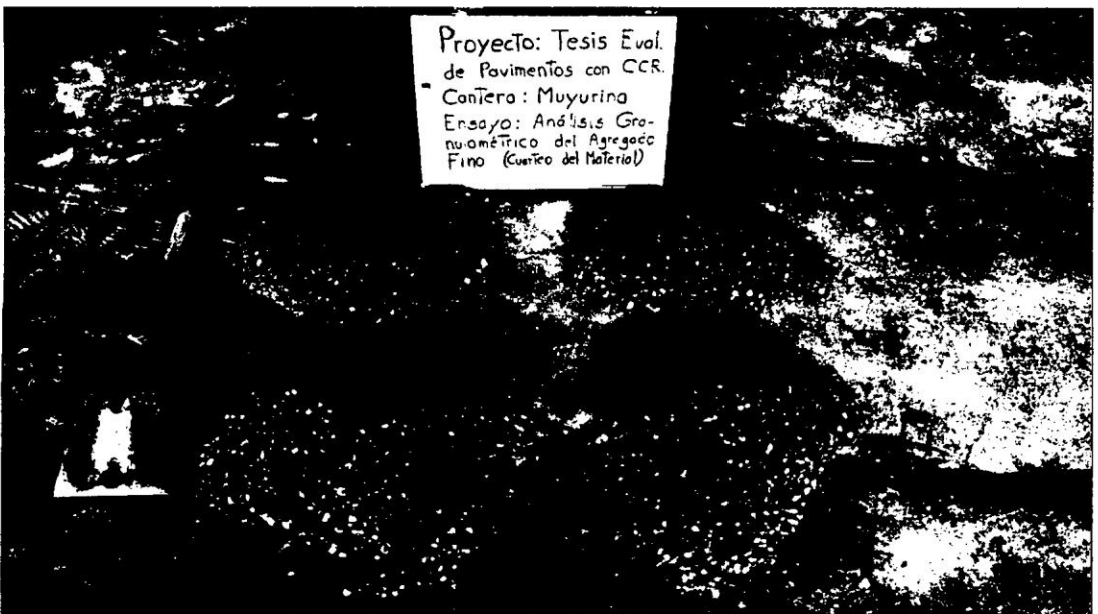


Figura F.2: Mezclado y cuarteo manual del agregado fino

F.1. Análisis Granulométrico de los Agregados

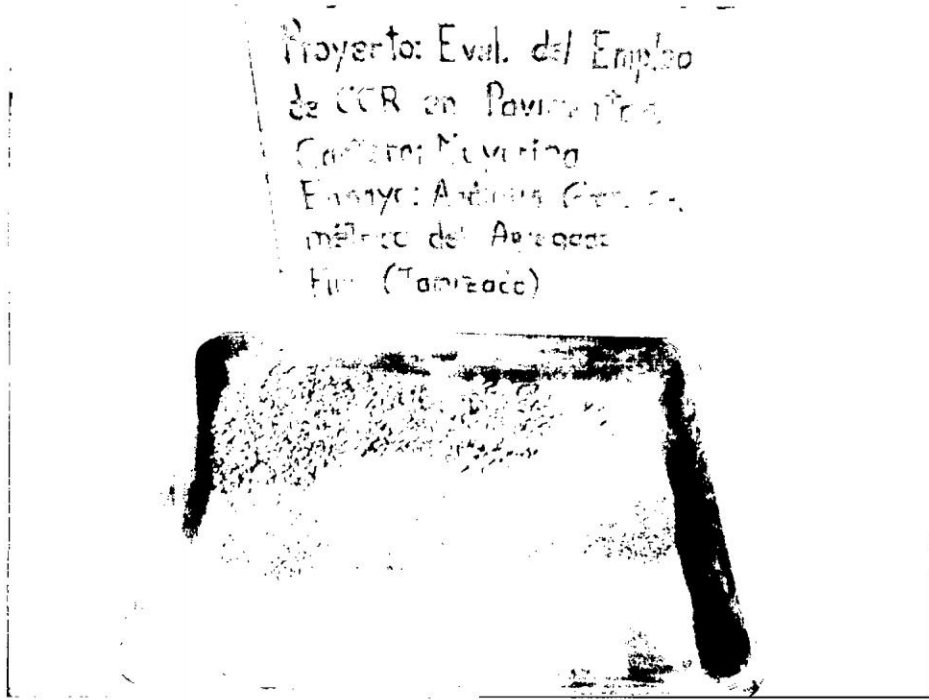


Figura F.3: Resultado del tamizado del agregado fino

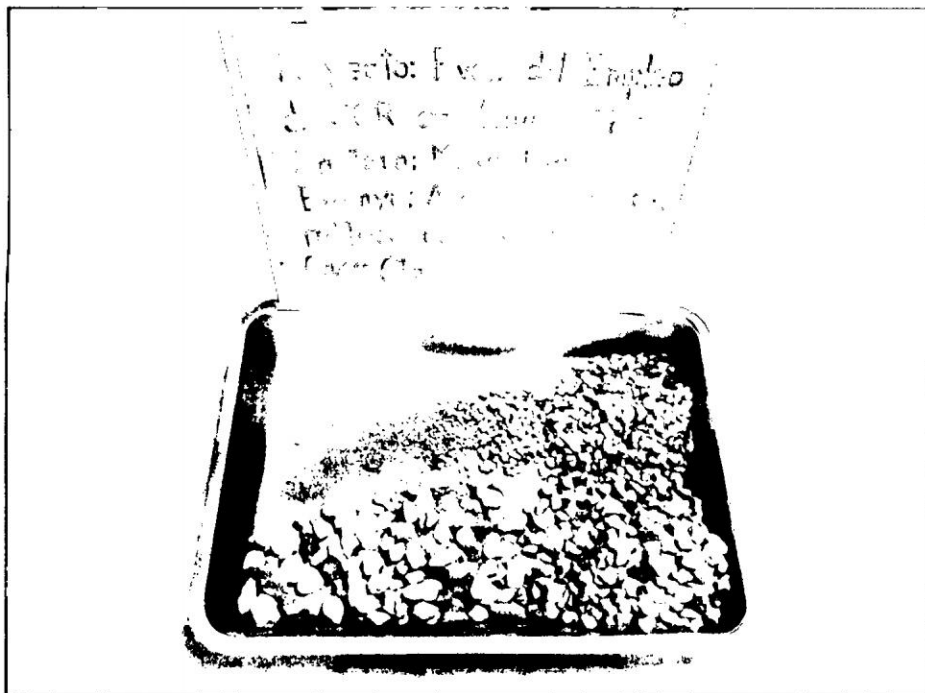


Figura F.4: Resultado del tamizado del agregado grueso

F.2. Determinación del Contenido de Humedad

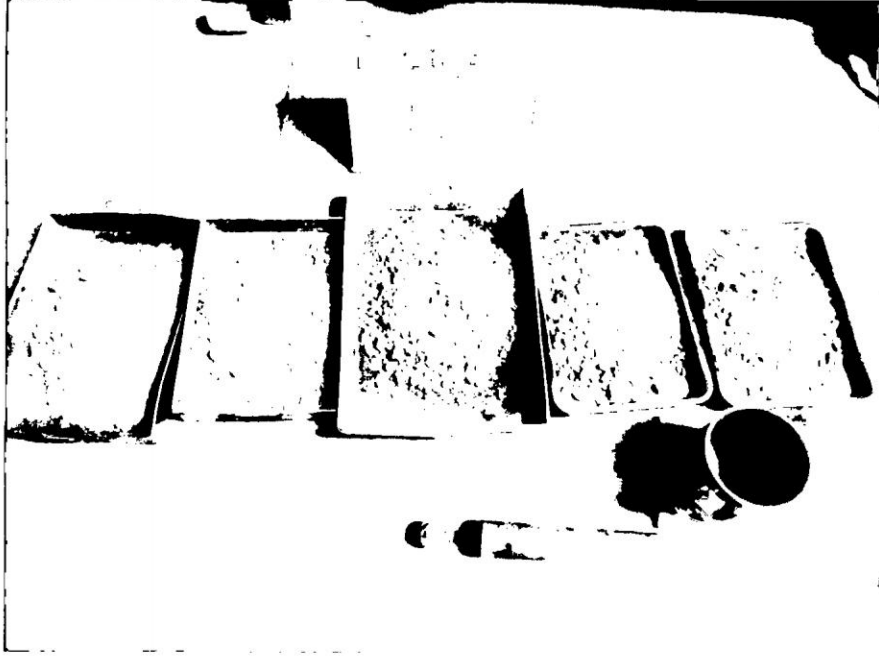


Figura F.5: Muestras con 0.75AF + 0.25AG + un porcentaje de contenido de cemento para el ensayo Proctor Modificado

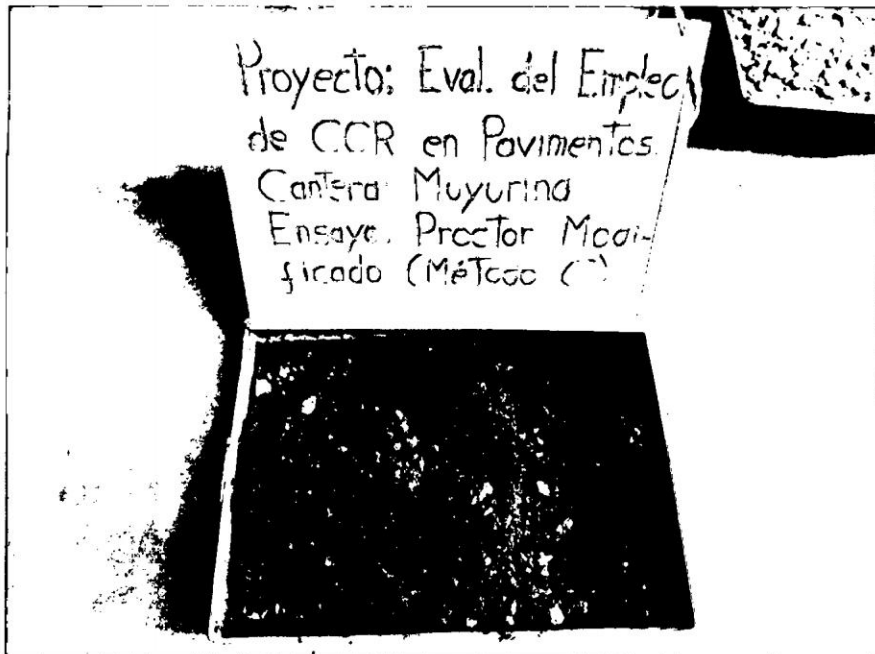


Figura F.6: Muestra con cierto contenido de agua para el ensayo Proctor Modificado

F.3. Preparación de Especímenes Cilíndricos de concreto



Figura F.7: Compactación de las mezclas para la estimación del OCH y MDS

F.3. Preparación de Especímenes Cilíndricos de concreto



Figura F.8: Mezclado manual de los elementos componentes del CCR

F.3. Preparación de Especímenes Cilíndricos de concreto



Figura F.9: Molde más extensión de un collar superior para la elaboración de las probetas CCR



Figura F.10: Compactación de las capas con equipo proctor modificado (método C)

F.3. Preparación de Especímenes Cilíndricos de concreto



Figura F.11: La extensión superior del collar en el molde facilita la compactación de la última capa



Figura F.12: Nivelación de la última capa de compactación

F.4. Curado de los Especímenes Cilíndricos de concreto

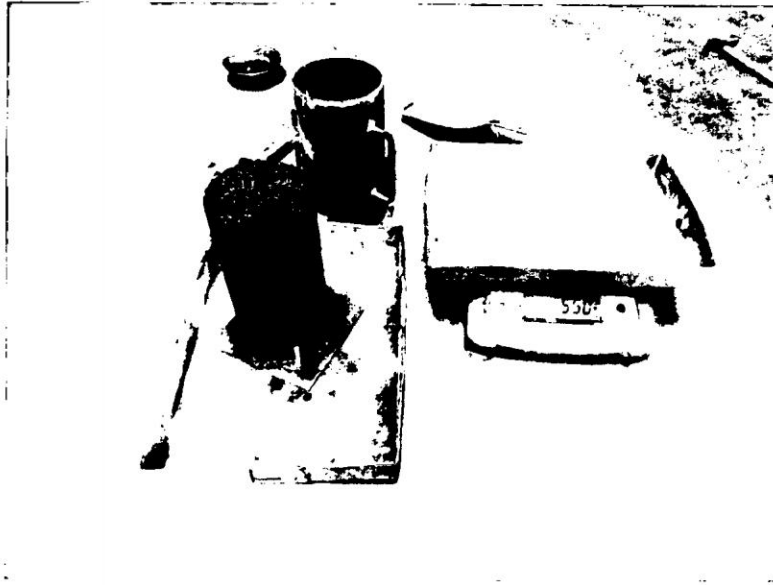


Figura F.13: Calibración de la cantidad de golpes de compactación a través de la máxima densidad seca.

F.4. Curado de los Especímenes Cilíndricos de concreto



Figura F.14: Finalizado la elaboración de especímenes se cubre con bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad

F.5. Ensayo de Resistencia a la Compresión

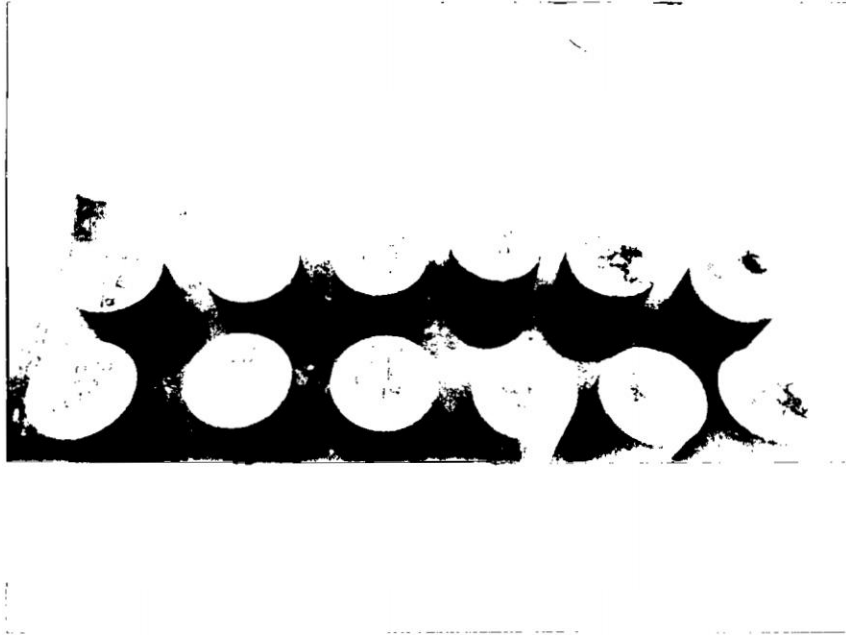


Figura F.15: Después de desamoldar los especímenes CCR es curado en tanques de almacenamiento de agua

F.5. Ensayo de Resistencia a la Compresión



Figura F.16: Resistencia a la compresión con 12% de contenido de cemento, falla en la parte superior y descascaramiento

F.5. Ensayo de Resistencia a la Compresión



Figura F.17: Resistencia a la compresión con 14 % de contenido de cemento, falla en la parte superior del espécimen



Figura F.18: Resistencia a la compresión con 16 % de contenido de cemento, falla en la parte superior del espécimen



Figura F.19: Resistencia a la compresión con 16 % de contenido de cemento, fractura total del espécimen



Figura F.20: Se observa la distribución de los componentes de mezcla CCR en un espécimen con 16 % de contenido de cemento, sometido al ensayo de resistencia a la compresión