

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR”.

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

MORALES, LEANDRA CAROLINA
HERRERA GUEVARA, OSCAR ARMANDO
CERRITOS HERNÁNDEZ, RICARDO ERNESTO

OCTUBRE DE 2011

SANTA ANA, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.”

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL.

PRESENTADO POR:

MORALES, LEANDRA CAROLINA
HERRERA GUEVARA, OSCAR ARMANDO
CERRITOS HERNÁNDEZ, RICARDO ERNESTO

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ.

OCTUBRE DE 2011

SANTA ANA, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. Y MSC. RUFINO QUEZADA SÁNCHEZ

VICE-RECTOR ACADÉMICO:

ARQ. Y MASTER MIGUEL ANGEL PEREZ RAMOS

VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO:

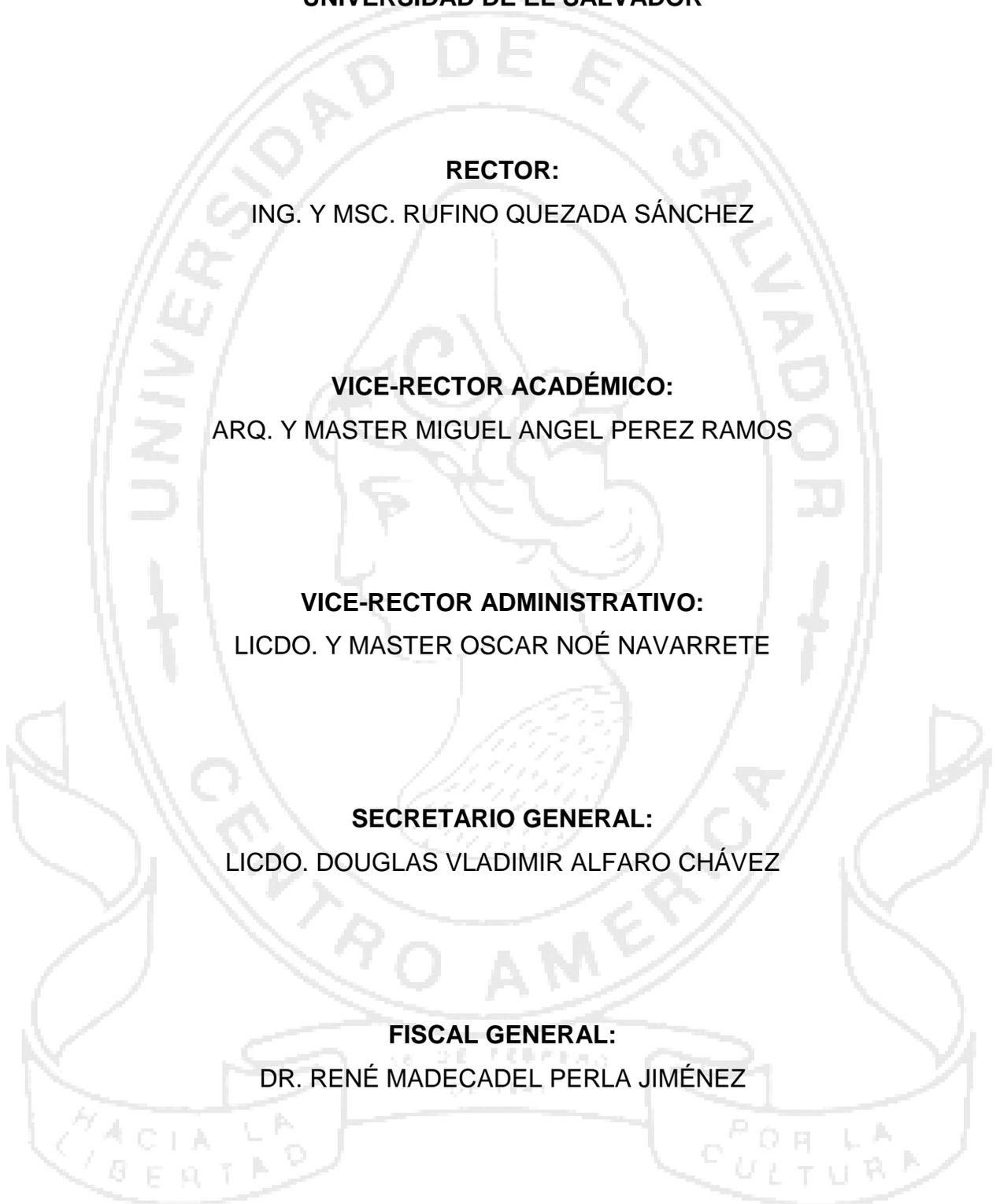
LICDO. Y MASTER OSCAR NOÉ NAVARRETE

SECRETARIO GENERAL:

LICDO. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FISCAL GENERAL:

DR. RENÉ MADECADEL PERLA JIMÉNEZ



FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO:

LICDO. JORGE MAURICIO RIVERA

VICE-DECANO:

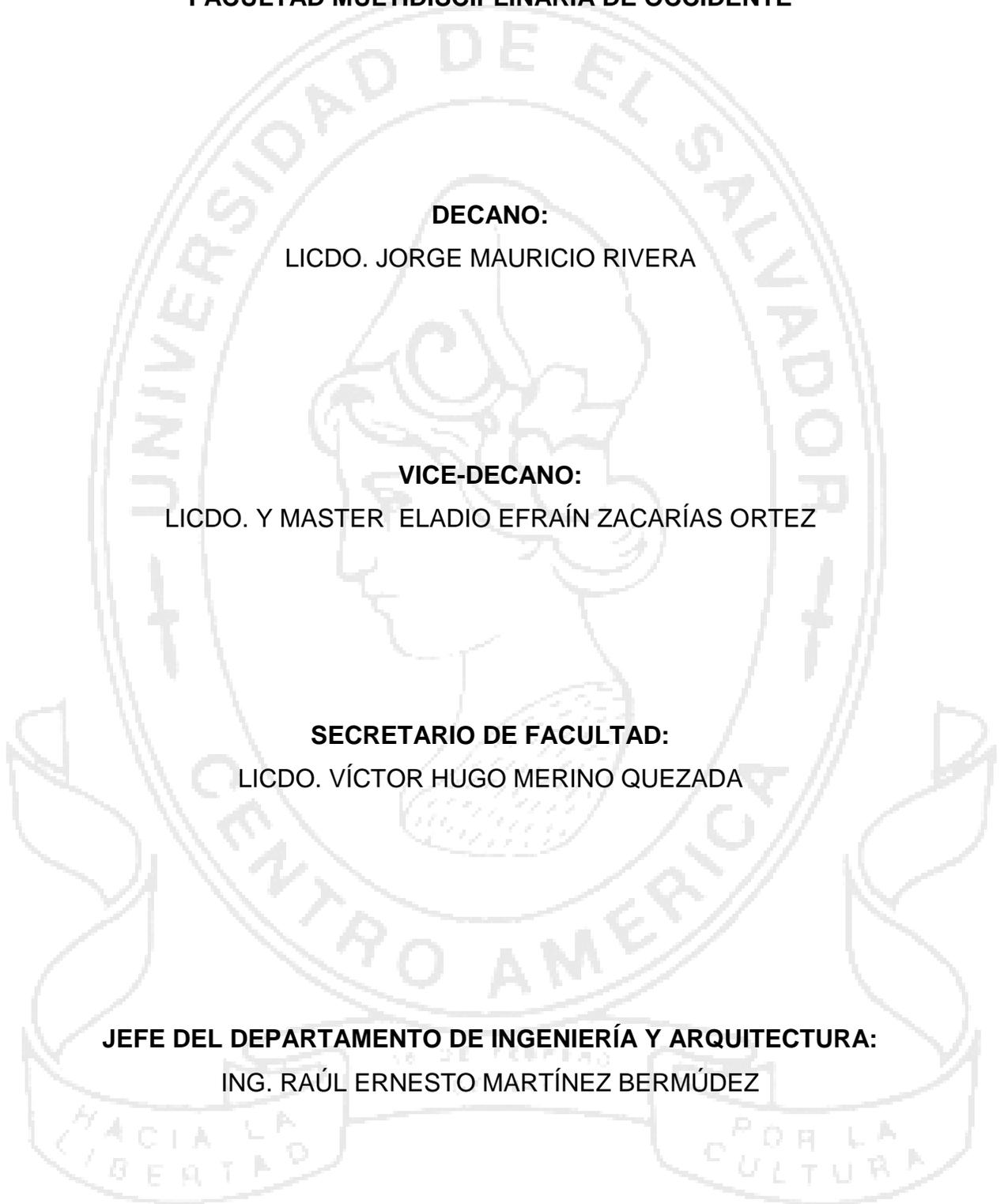
LICDO. Y MASTER ELADIO EFRAÍN ZACARÍAS ORTEZ

SECRETARIO DE FACULTAD:

LICDO. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA

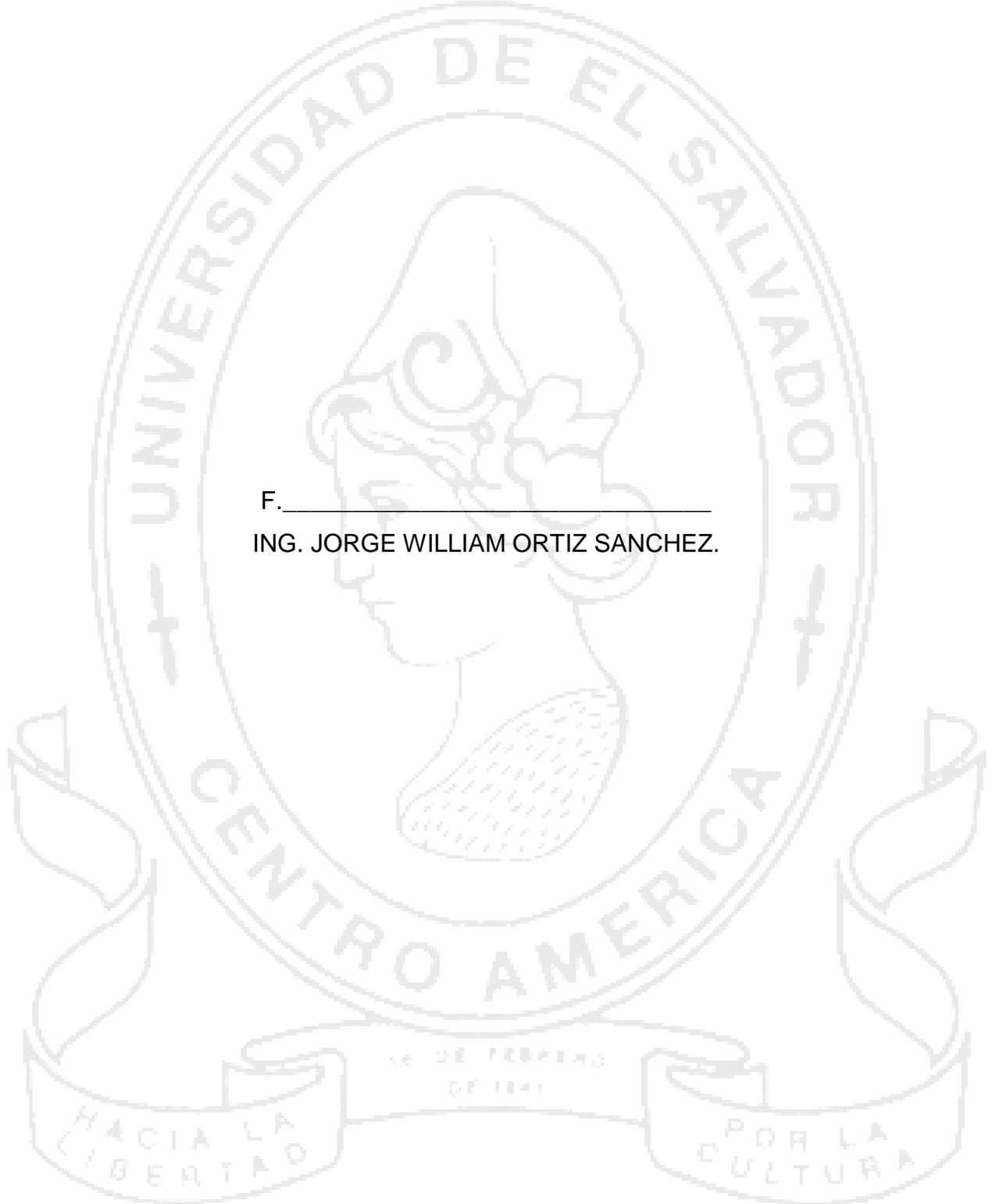
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMÚDEZ



TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

F. _____
ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ.



AGRADECIMIENTOS

A **JEHOVA DIOS TODOPODEROSO**, por su amor, bondad, misericordia y fidelidad, que demostró todos los días en los cuales estuvimos cursando nuestra carrera en la Universidad de El Salvador, ayudándonos día con día y dándonos entendimiento para comprender todos los temas relacionados a nuestra carrera y poder cumplir con todas nuestras metas a lo largo de nuestras vidas; a la universidad de El Salvador por habernos forjado como profesionales con buenos valores y personas de bien en la sociedad Salvadoreña.

A las empresas e instituciones que nos brindaron su ayuda incondicionalmente en nuestra investigación para desarrollo de nuestro trabajo de grado, brindándonos: información referente al tema de investigación, asistencia técnica, instalaciones, equipo de laboratorio y material.

A la alcaldía municipal de Chalchuapa, por habernos proporcionado todos los materiales necesarios, equipo, herramientas y personal para poner a prueba nuestro diseño de mezcla de Concreto Compactado con Rodillo.

- Universidad de El Salvador.
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).
- HOLCIM El Salvador.
- Alcaldía Municipal de Chalchuapa.

A los profesionales de las instituciones que nos brindaron de su valiosa ayuda y de sus conocimientos para enriquecer la información plasmada en este trabajo de graduación, especialmente a:

- Ing. Jorge William Ortiz Sanchez.
- Ing. Rafael Alejandro Gonzalez.

- Ing. Ricardo Burgos Oviedo.
- Ing. Jaime Omar Avalos.
- Prof. Mario Rafael Ramos Sandoval Alcalde Municipal.
- Ing. Wilber Serrano.

Además, queremos agradecer por la colaboración que nos brindaron incondicionalmente algunas personas que de una u otra manera estuvieron involucradas durante el proceso de este trabajo.

- Sra. Maritza de Avilés (ISCYC).
- Tec. Julio Alberto Hernández. (ISCYC).
- Tec. Victoriano Ramírez Valladares.(ISCYC)
- Ing. Dimas Ali García. (ISCYC)
- Tec. Víctor Samuel Ramírez Fuentes (ISCYC)
- Tec. Ronald Retana Pineda (ISCYC)
- Ing. Wilbert López.
- Ing. Max Hernández.

A ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ.

De manera especial por habernos brindado de su tiempo, apoyo y orientación en el desarrollo de este trabajo, nos ha enseñado a llevar de manera ordenada el proceso de un trabajo y nos ha exhortado a obtener el conocimiento en todos los ámbitos posibles, Gracias por habernos enseñado a llevar correctamente el desarrollo de nuestro trabajo para no caer en confusiones y poder finalizarlo.

A ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ.

Por ser nuestro guía en todo el proceso de la elaboración de nuestro trabajo de graduación y de la investigación y por proveernos de sus valiosos conocimientos que fueron de mucha ayuda y gracias por abrirnos las puertas

del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Gracias por compartir su tiempo y conocimientos los cuales han resultado invaluable para la culminación y desarrollo de este trabajo.

A ING. RICARDO BURGOS OVIEDO

Por aportar de sus conocimientos en la elaboración de nuestro trabajo de grado, y gracias por brindar de su valioso tiempo de una manera incondicional, así como de su atención en cualquier momento, gracias por estar atento a nuestras preguntas y responderlas.

Gracias porque sin su valiosa ayuda no hubiese sido posible finalizar nuestro trabajo de grado, Gracias a todos.

EL GRUPO

DEDICATORIA

A JEHOVA DIOS TODOPODEROSO, por haberme dado la vida, y por estar en todo momento cuando lo necesite y por bendecir a mis padres para poder darme la educación, Gracias **DIOS**.

A MIS PADRES: Armando Herrera y Rosa de Herrera por apoyarme toda la vida no importando las circunstancias, gracias por estar ahí en los momentos más difíciles de la vida, gracias por su amor, confianza, apoyo y fidelidad incondicional, los amo.

A MI HERMANA Y SU ESPOSO: Jenny Herrera y Mauricio Ramos, por su apoyo brindado y por darme ánimos siempre que estaba en momentos difíciles.

A MI NOVIA: Elsy Umaña, por su apoyo incondicional y por aconsejarme en cada momento difícil, y estar ahí en todo tiempo brindándome de su ayuda y comprensión.

A MIS AMIGOS LEANDRA Y RICARDO, por estar ahí en los momentos agradables y desagradables, fue un gusto compartir con ustedes el desarrollo de nuestro trabajo de graduación.

A MIS AMIGOS: a todos aquellos que de una u otra manera me ayudaron y me dieron aliento en el transcurso de mi carrera, gracias a todos.

A todos ustedes muchas Gracias que JEHOVA DIOS TODOPODEROSO los bendiga.

OSCAR HERRERA.

DEDICATORIA.

PRIMERAMENTE A DIOS TODO PODEROSO, A LA VIRGENCITA SANTÍSIMA DEL SAGRADO CORAZÓN, por haberme permitido alcanzar este gran triunfo en mi vida, por escuchar mis oraciones en aquellos momentos de desesperación en los cuales estuve a punto de abandonar mi carrera, por iluminarme y guiarme por el buen camino, por darme paciencia para ir paso a paso y poder obtener mi Título de Ingeniero Civil.

A MI ESPOSA, Yanira Patricia, por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas, por sus palabras de aliento que me sirvieron de mucho para seguir adelante en mis estudios, por su apoyo para levantarme y seguir las veces que caí derrotado en alguna materia, gracias Amor, Te Amo mi “Paty_Neta”.

A MI PEQUEÑIN, Matías Leonel, mi hijo por llegar a dar una felicidad más en mi vida, por servir de aliento y motivación para cruzar esa recta final de mi carrera te amo peque.

A MIS PADRES, Ricardo A. Cerritos y Marina de Cerritos, por haberme dado la vida y formar en mi un hombre de bien desde mis primeros pasos, por guiarme y estar a mi lado en cada una de las etapas de mi vida, por ayudarme con sus conocimientos y sabiduría, por su aporte económico desinteresado, este triunfo es de Uds. también los amo mucho.

A MI HERMANA, Marina Mercedes, por sus palabras de aliento en todo momento de mi carrera, por servirme de ejemplo para no desfallecer y continuar mis estudios, gracias te quiero mucho.

A MI TIO, Ing. René Mauricio Cerritos, que siempre estuvo pendiente de mi formación académica brindándome sus conocimientos y bibliografía necesaria, gracias Tío Micho.

A TODA MI FAMILIA, en general, por estar siempre pendiente de mí dándome consejos y alientos para terminar mi carrera, les agradezco a todos y los quiero mucho.

A MI AMIGO, Ing. Saúl A. Fajardo, por servirme de ejemplo y ayuda en cada una de las materias, por brindarme sus conocimientos ya en campo de lo que es la carrera de Ing. Civil te lo agradezco mi hermano.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Leandra Carolina y Oscar Armando, por su paciencia y tolerancia en algunos momentos de nuestro proceso de grado, por compartir esta experiencia y lograr alcanzar nuestros sueños juntos.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS, que formamos un grupo muy especial como es la "ZOOGLEA" que pasamos muchos desvelos, gracias por sus alientos y oraciones, y en especial a mis dos queridas amigas que estuvieron pendientes de mí siempre: Sara Mayra y Xiomara Castaneda las quiero mucho.

RICARDO ERNESTO CERRITOS HERNÁNDEZ.

DEDICATORIA

A DIOS Y A LA VIRGEN MARIA por todas las bendiciones que me han sido otorgadas; a **MI DIOS** porque todas sus manifestaciones siempre tenían un motivo único y verdadero, por demostrarme que había esperanza mientras no perdía la fe.

A JORGE LUIS, mi bebito que me devolvió el anhelo de alcanzar más altos fines, representas el significado más valioso de Vida.

A MIS PADRES JORGE HUMBERTO y ALBA ESPERAZAN, por apoyarme y demostrarme que los frutos se consiguen con esfuerzo, a **MI MADRE** que fue y seguirá siendo mi pedestal, por su sacrificio y amor Gracias Mami.

A MIS HERMANAS MICHELLE Y ALBA CRISTINA que siempre han estado a mi lado bordando con sus años mis mejores recuerdos; gracias porque si necesitaba apoyar mi mano tenía sus hombros, porque si me sentía débil me reconfortaban y si me sentía fuerte andábamos más de prisa.

A MI FAMILIA, por demostrarme su cariño, por su ayuda y motivación en los momentos que fueron necesarios.

A MIS COMPAÑEROS RICARDO Y OSCAR, por desarrollar con esfuerzo nuestro trabajo de grado durante este tiempo, que a pesar de las dificultades estamos culminando ésta etapa.

A MIS AMIGOS, que muchos de ellos eran también mis compañeros, porque compartieron conmigo muchos recuerdos a lo largo de la carrera, porque me enseñaron que con su ayuda se podían hacer mejor las cosas, gracias a los que en verdad me demostraron su amistad y cariño.

LEANDRA CAROLINA MORALES.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	xxiii
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 GENERAL:.....	5
1.4.2 ESPECIFICOS:.....	5
1.5 ALCANCES.....	6
1.6 LIMITACIONES.....	6
1.7 JUSTIFICACIONES.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 INTRODUCCION	9
2.2 DEFINICION DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	9
2.3 APLICACIONES DEL CCR.....	10
2.4 CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA.	10
2.5 MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).....	11
2.5.1 MATERIAL AGLUTINANTE (CEMENTO).....	11
2.5.2 AGREGADOS.....	11
2.5.3 AGUA.....	13
2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	14
2.6.1 ENSAYOS DE CONSISTENCIA (AASHTO T-180)	14

2.6.2 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES (ASTM C-1435 para Cilindros).....	15
2.6.3 PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO.....	15
2.7 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS	16
2.7.1 MÉTODOS DE PROPORCIÓN DE MEZCLAS CON APROXIMACIÓN A SUELOS.	16
2.8 PROPIEDADES DEL CCR.	17
2.8.1 GENERALIDADES.	17
2.8.2 RESISTENCIA	18
CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA DE CCR UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS.	20
3.1 INTRODUCCION	21
3.2 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CCR.....	21
3.3 SELECCIÓN DE AGREGADOS.	22
3.4 PRUEBAS A LOS AGREGADOS.	23
3.4.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C 127 Y C 128).....	23
3.4.2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	31
3.4.3 PESO VOLUMETRICO DE LOS AGREGADOS (ASTM C-29).....	37
3.4.4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.....	42
3.5 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA.	48
3.6 SELECCIÓN DEL MATERIAL CEMENTANTE	52
3.7 RELACION HUMEDAD DENSIDAD AASHTO T-180.	52
3.8 ELABORACION DE ESPECIMENES	60

3.9 PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.....	68
3.10 SELECCIÓN FINAL DE LA PROPORCIÓN DE MEZCLAS.....	79
CAPITULO IV: APLICACIÓN DE LA TECNICA EN CAMPO USANDO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LAS REPARACIONES DE BACHES EN PAVIMENTOS ASFALTICOS.	
4.1 INTRODUCCION.....	81
4.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA BACHEO PROFUNDO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR.	82
4.3 ¿COMO DEBE REALIZARSE EL BACHEO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO?.....	86
4.4 COLOCACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CCR EN UN TRAMO DE PRUEBA EL CUAL ESTARÁ SOMETIDO A TRÁFICO VEHICULAR (APLICACIÓN DE LA TECNICA EN CAMPO).....	92
4.5 PRUEBAS EN CAMPO A LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN ESTADO FRESCO.....	101
CAPITULO V: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DEL SISTEMA DE REPARACIÓN DE BACHES APLICANDO LA TECNICA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO VRS MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO. ...	
5.1 INTRODUCCION.....	110
5.2 DETERMINACION DE COSTOS UNITARIOS DIRECTOS.....	110
5.7 COMPARACION DE COSTOS UNITARIOS ENTRE LA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO Y EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO PROFUNDO.....	121
CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	
6.1 INTRODUCCION.....	123
6.2 GENERALIDADES.	123

6.3 AGREGADOS.....	124
6.4 COMBINACIÓN GRANULOMETRICA ÓPTIMA DE LA GRAVA Y DE LA ARENA (METODO GRAFICO).....	128
6.5 RELACION HUMEDAD-DENSIDAD (AASHTO T-180).....	130
6.6 DETERMINACION Y COMPARACIÓN ENTRE LAS DENSIDADES ALCANZADAS EN CAMPO Y LABORATORIO.....	132
6.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA EN LABORATORIO Y EN CAMPO Y LA COMPARACION ENTRE ESTAS.	135
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
7.1 CONCLUSIONES	141
7.2 RECOMENDACIONES.....	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXOS.....	149

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Características y Ensayos para los Agregados.	12
Tabla N° 3.1 Peso de la muestra de ensayo en función del tamaño máximo (f_{max}) del Agregado	33
Tabla N° 3.2 Modelo de cálculo para la granulometría de agregados.....	34
Tabla N° 3.3 Tipos de granulometrías de comparación para los agregados a ensayar en la Máquina de Los Ángeles.....	43
Tabla N° 3.4 Pesos de los diferentes tamaños de agregados para el ensayo de Desgaste	44
Tabla N° 3.5 Tamaño de la carga abrasiva según la granulometría.....	45

Tabla N° 3.6	Procedimientos alternativos para realizar el ensayo de compactación. Proctor Modificado (martillo de 10 lbs de peso y altura de caída 18 pulg.).....	53
Tabla N° 3.7	Características de los agregados y el cemento.	60
Tabla N° 3.8	Diseño de mezcla de CCR con un contenido del 8% de cemento.....	61
Tabla N° 3.9	Diseño de mezcla de CCR con un contenido del 12% de cemento.....	62
Tabla N° 3.10	Diseño de mezcla de CCR con un contenido del 18% de cemento.	63
Tabla N° 4.1	Calidad de los materiales para sustitución en sub rasante.....	87
Tabla N° 4.2	Especificaciones de la dosificación en peso.....	95
Tabla N° 4.3	Especificaciones de la dosificación en volumen.....	95
Tabla N° 5.1	Calculo del costo unitario de la mezcla asfáltica para bacheo profundo	120
Tabla N° 5.2	Calculo del costo unitario de la mezcla de CCR para bacheo profundo.	120
Tabla N° 5.3	Comparación de Costos Directos entre Mezcla Asfáltica y CCR.	121
Tabla N° 6.1	Resumen de Resultados de los Ensayos a la Arena.....	126
Tabla N° 6.2	Resumen de los Resultados de los Ensayos a la Grava.	127
Tabla N° 6.3	Pesos Volumétricos Secos Máximos, Porcentajes de Humedades Optimas y Relaciones A/C, para Distintos Porcentajes de Cemento	130
Tabla N° 6.4	Densidades de compactación en campo y en laboratorio.	133

Tabla N° 6.5 Comparación de resistencias a compresión entre cilindros fabricados en campo y los que se fabricaron en laboratorio.....	136
--	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Rango típico de graduación de agregado para pavimento de CCR, según ACI 211.3R.....	13
Figura N° 3.1 Eliminación del agua superficial.....	25
Figura N° 3.2 Preparación del Agregado Fino para condición sss.....	26
Figura N° 3.3 Muestra de arena sumergida en agua.....	26
Figura N° 3.4 Determinación de la condición SSS para el agregado fino	27
Figura N° 3.5 Grafica para el proporcionamientos de los agregados, “A” grava y “B” arena.....	50
Figura N° 3.6 Curva granulométrica combinada, dentro de la franja de control ACI 211.3 R.	51
Figura N° 3.7 Compactación de cilindros con el Martillo Hilti	66
Figura N° 3.8 Compactación de viguetas y colocación de collarín para compactación de la última capa.....	67
Figura N° 3.9 Curado de especímenes	68
Figura N° 3.10 Colocación del espécimen para ensayo de compresión	71
Figura N° 3.11 Especimen sometido a carga en máquina para determinar la resisten a compresión.....	71
Figura N° 4.1 Selección del área de pavimento a reparar.....	93
Figura N° 4.2 Delimitación y marcado del área de pavimento	93
Figura N° 4.3 Corte del pavimento	94

Figura N° 4.4	Excavación en la estructura del pavimento.....	94
Figura N° 4.5	Proceso de Compactación	97
Figura N° 4.6	Secuencia de la Colocación y Compactación del CCR en Campos	98
Figura N° 4.7	Determinación de la Compactación en Campo.....	100
Figura N° 4.8	Secuencia del Curado y Acabado Final del Proceso de Bacheo	101
Figura N° 4.9	Colocación del densímetro nuclear para determinar la densidad de compactación alcanzada en campo. Fuente: Grupo de Tesis.	101
Figura N° 4.10	Elaboración de cilindros en campo, para pruebas de compresión	104
Figura N° 4.11	Especímenes Elaborados en campo.....	105
Figura N° 4.12	Prueba de Resistencia a la Compresión de especímenes Elaborados en campo	105
Figura N° 4.13	Inspección Visual a 30 Días del Bacheo	108
Figura N° 5.1	Estructuras de ambas técnicas de reparación de Pavimentos..	111
Figura N° 6.1	Curva Granulométrica del Agregado Fino ASTM C-33	125
Figura N° 6.2	Curva Granulométrica del Agregado Grueso ASTM C-33.	127
Figura N° 6.3	Grafica para los proporcionamientos de los agregados, “A” grava y “B” arena	128
Figura N° 6.4	Curva Granulométrica Combinada con el 43% grava y el 57% arena.....	129
Figura N° 6.5	Porcentaje de Cemento contra PVSM	131
Figura N° 6.6	Porcentaje de Cemento Contra COH.....	131

Figura N° 6.7 Variación de la Relación Agua Cemento Contra % de Cemento	132
Figura N° 6.8 Comparación entre Densidades de Compactación	134
Figura N° 6.9 Comparación de los Porcentajes de Compactación en Campo Contra el Proctor Modificado.....	135
Figura N° 6.10 Resistencia a la compresión de las mezclas de CCR con diferentes contenidos de Cementos.....	137
Figura N° 6.11 Resistencia a flexión de la mezcla.	138
Figura N° 6.12 Relación entre M_r y F'_c	138
Figura N° 6.13 Comparación entre costos directos de ambas mezclas	139

INDICE DE FORMATOS

Formato N° 3.1 Resultado de Prueba de Gravedad específica y absorción del agregado fino ASTM C- 128	29
Formato N° 3.2 Resultado de Prueba Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C-127	30
Formato N° 3.3 Análisis granulométrico de la Arena ASTM 136	35
Formato N° 3.4 Análisis granulométrico de la Grava ASTM C 136.....	36
Formato N° 3.5 Peso Unitario de la Grava ASTM C 29	40
Formato N° 3.6 Peso Unitario de la arena ASTM C 29.....	41
Formato N° 3.7 Resistencia al desgaste del Agregado Grueso.....	47
Formato N° 3.8 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 8 % de cemento.....	57

Formato N° 3.9 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 12 % de cemento.....	58
Formato N° 3.10 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 18 % de cemento.....	59
Formato N° 3.11 Resistencia a la compresión diseño de mezcla con 8% de cemento y relación $a/c = 1.13$	72
Formato N° 3.12 Resistencia a la compresión, diseño de mezcla con el 12% de cemento y relación $a/c = 0.76$	73
Formato N° 3.13 Resistencia a la compresión, diseño de mezcla con el 18% de cemento y relación $a/c = 0.51$	74
Formato N° 3.14 Resistencia a la flexión. Diseño de mezcla con 18% de cemento y relación $A/C = 0.51$	78
Formato N° 4.1 Formato de Fase Preparatoria	91
Formato N° 4.2 Resultados de las densidades de compactación en campo, mediante el densímetro nuclear ASTM D 2922	103
Formato N° 4.3 Resultados de cilindros a compresión fabricados en obra con el 18% de cemento	106
Formato N° 4.4 Inspección visual del bacheo con CCR	107
Formato N° 5.1 Determinación del costo unitario de la partida corte y demolición	112
Formato N° 5.2 Determinación del costo unitario de la partida base de suelo cemento 1:20.....	113
Formato N° 5.3 Determinación del costo unitario de la partida riego de liga en caliente	114
Formato N° 5.4 Determinación del costo unitario de la partida mezcla asfáltica en caliente	115

Formato N° 5.5 Determinación del costo unitario de la partida sellante en bache con mezcla asfáltica.....	116
Formato N° 5.6 Determinación del costo unitario de la partida corte y demolición	117
Formato N° 5.7 Determinación del costo de la partida concreto compactado con rodillo	118
Formato N° 5.8 Determinación del costo unitario de la partida sellante en bache con CCR	119

INTRODUCCIÓN

A medida que transcurre el tiempo, en el campo de la ingeniería civil, especialmente en el área de carreteras, ha surgido la necesidad de buscar alternativas de solución a los problemas de circulación vehicular que presentan las carreteras; problemas que al mismo tiempo dificultan el desarrollo económico-social de las poblaciones.

Por tal motivo se hace necesario aplicar una técnica de mejoramiento de las condiciones de transitabilidad y operacionalidad que tiene que ofrecer la vía, ya que estas estructuras sufren deterioros leves y severos los cuales se tienen que tratar para evitar el daño focalizado y completo de la estructura, razón por la cual se realizará una investigación técnica y económica sobre las reparaciones de los baches en pavimentos flexibles.

El concreto compactado con Rodillo en estado fresco posee una consistencia seca y una relación entre los agregados, el cemento y el agua que permite la circulación de los equipos de compactación que consisten en rodillos lisos vibratorios para proporcionar una vibrocompactación externa, rápida y ayudar a mejorar el acabado superficial, todo esto antes de que se empiece a endurecer. Cabe mencionar que esta técnica de reparación de baches pretende eliminar las desventajas que obtienen los pavimentos flexibles cuando se encuentran con daños localizados sobre la estructura.

En el presente documento se recopila información que describe algunos antecedentes del Concreto Compactado con Rodillo a nivel nacional y en otro país, en el uso de reparaciones de baches, con el propósito de fundamentar bases que acrediten la necesidad de ejecutar este tipo de técnica en el mantenimiento de las carreteras de pavimento flexible, aplicando materiales y parámetros de diseño utilizados en el país. El contenido de la presente investigación se divide de la siguiente manera: en el Capítulo I, Generalidades, se describen los lineamientos a seguir en la investigación del Trabajo de grado;

en cuanto al planteamiento, objetivos, alcances entre otros, q se presentan en este capítulo, para enfatizar el diseño mediante la conceptualización de suelos.

El capítulo II, Marco Teórico destaca las características del Concreto Compactado con Rodillo y sus propiedades, además de conceptualizar cada elemento que compone la mezcla; continuando con los diferentes ensayos y procedimientos que se realizarán para el diseño de la mezcla

El capítulo III, Diseño de Mezcla de CCR utilizando Conceptos de Compactación de Suelos presenta la etapa de laboratorio donde se realizaron las pruebas a cada uno de los componentes de la mezcla según las normas respectivas, además se determinó la combinación de los agregados, y se definieron los porcentajes de cemento y el método Proctor Modificado a emplear para la obtención de la densidad máxima seca de compactación y con ello el contenido de agua óptimo; finalmente se luego se determinó el proporcionamiento de la mezcla.

El Capítulo IV, Aplicación de la técnica en campo usando CCR en las reparaciones de baches en pavimentos asfálticos, detalla las especificaciones técnicas de materiales y proceso constructivo, dicho proceso es explicado de una manera sencilla, de tal manera que sea de fácil entendimiento; además se presenta el control de calidad a seguir dentro de la ejecución de dicha actividad, así como la inspección de comportamiento por parte del grupo.

El Capítulo V, Análisis de costos unitarios del sistema de reparación de baches aplicando la técnica de CCR vrs Mezclas Asfálticas en Caliente, se comparan costos unitarios directos de ambas técnicas en cada una de sus actividades; y así conocer cual técnica es mas económica; basándose esto en los precios de materiales que son comercializados en la zona occidental del País.

El Capítulo VI Análisis y Discusión de los Resultados Obtenidos, presenta el análisis de los resultados de las diferentes evaluaciones realizadas; presentando los valores obtenidos correspondientes a propiedades del CCR, además de comparaciones de los resultados obtenidos en laboratorio y campo

utilizados en la investigación como lo son densidades, el comportamiento del concreto a diferentes edades y evaluando el valor del costo en base a su aplicación.

Finalmente, en el Capítulo VI, Conclusiones y Recomendaciones, se presentan las conclusiones que se obtuvieron; y con ello sus respectivas recomendaciones obtenidas a través del desarrollo del trabajo de grado.

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se tiene como finalidad documentar información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación relacionados con el Concreto Compactado con Rodillo, teniendo mayor énfasis sobre la parte de diseño de mezcla mediante conceptos de compactación de suelos.

Como parte de las Generalidades se presentan los antecedentes que reflejan cómo ha evolucionado esta técnica en el país, donde actualmente se tienen varios proyectos en los cuales se ha empleado este tipo de Concreto para pavimentos, además de estudios que han sido respaldados por el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto.

El propósito de la investigación es contribuir a la difusión de una nueva alternativa para soluciones de reparación de baches. Como justificación se enmarca por qué la aplicación del CCR en reparaciones de baches podría ser una muy buena alternativa para el mantenimiento de una estructura de pavimento flexible, además de obtener un diseño de mezcla que cumpla con una resistencia requerida utilizando concreto compactado. Se proponen los objetivos de la investigación y además de mostrar las limitaciones las cuales se presentan en el desarrollo de esta, se mencionan los alcances que describirán la investigación y la justificación por la cual se ha realizado el diseño de mezcla de Concreto Compactado con Rodillo.

1.2 ANTECEDENTES.

El concreto compactado con rodillo es un material constituido por agregados, cemento, agua (en menor cantidad que para un concreto convencional) y aditivos (opcional). Se ha utilizado en la construcción de pavimentos, pistas de aeropuertos, protección de los márgenes de canales y en la construcción de fundaciones masivas.

“En El Salvador se tienen proyectos de investigación los cuales han sido desarrollados por el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

y HOLCIM utilizando la técnica del Concreto Compactado entre estos están: Santa Rita – Chalatenango, Agua Fría, Cantón El Ronco de 1.4 Km. y el Vice-Ministerio de Obras Publicas en el año 2003 construyó el proyecto Paquete II Carretera San Martín San Rafael Cedros, el cual incluye como parte de la estructura del pavimento, la construcción de una capa con dicho concreto en un tramo de 14.52 kilómetros de longitud y dos carriles por sentido”¹.

Luego de utilizar la tecnología del CCR en la construcción de pavimentos, se inicia en la utilización para el mantenimiento vial de los pavimentos flexibles (pavimentos asfálticos). En el año 2004 el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), implementa la técnica para bacheo vial con Concreto Compactado con Rodillo en las calles de la Ciudad de Sonsonate; siendo este un bacheo de prueba, luego crearon el “Manual de reparaciones duraderas y de bajo costo para operaciones de bacheo, utilizando mezclas de concreto compactado”.

En el año 2010 personal de HOLCIM y con la ayuda del “Manual de reparaciones duraderas y de bajo costo para operaciones de bacheo utilizando mezclas de concreto compactado con Rodillo” (manual del ISCYC), realizó la reparación en Av. El Espino Urb. Madre Selva Cuscatlán. En el mismo año estudiantes de la UNIVO hicieron un tramo de prueba, utilizando la técnica para bacheo vial, en el desarrollo de su tesis llamada Análisis de Factibilidad Técnica de bacheo con Concreto Compactado con Rodillo en vías de Pavimento Asfáltico en la zona Oriental de El Salvador.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

“El pavimento se utiliza como estructura en la construcción de carreteras desde finales del siglo XIX y se incrementó con el desarrollo de la industria automotriz. Desde entonces, su tecnología ha mejorado considerablemente. Las

¹Tesis, Análisis de Factibilidad Técnica de bacheo con Concreto Compactado con Rodillo en Vías de Pavimento Asfáltico en la Zona Oriental de El Salvador.

características que determinan la calidad de un pavimento son su durabilidad, estabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento”².

“Los problemas que afectan las condiciones de las carpetas de rodaduras asfálticas es el deterioro de la superficie y de la estructura, estando entre el deterioro superficial el desprendimiento del agregado, alisamiento y la exposición de agregados. En el deterioro de la estructura se enmarcan los baches profundos y agrietamientos entre otros y a ese detrimento”³ se le agrega la pérdida de capacidad de carga y la falta de mantenimiento, entre otros. Uno de los indicadores más claros del desarrollo de un país es su infraestructura, en la que las vías de comunicación urbanas (Vía Secundaria⁴) juegan un papel fundamental. La carencia de un adecuado sistema de mantenimiento vial, el exceso de carga de los vehículos sobre los pavimentos, los sistemas de drenajes inadecuados, las deficiencias constructivas y, sobre todo, la falta de recursos económicos para atender las labores de conservación afectan estos indicadores.

Una estructura de pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico bien diseñada y construida puede conservarse en buen estado durante varios años, pero requiere un constante mantenimiento y reparaciones periódicas para alcanzar la vida útil esperada. En el mantenimiento de pavimentos flexibles, es necesario el proceso de bacheo el cual tiene que ser práctico y duradero, para evitar el deterioro completo de toda la estructura, por tal razón dichas reparaciones se deben llevar a cabo oportunamente, para evitar deterioros posteriores, que causen peligro para el tráfico y conduzcan a la desintegración del pavimento.

²Reparación de Carpetas Asfálticas, “Revista Construir”, América Central y el Caribe.

³ M5.1.Catalogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles, Colección de Documentos Vol. N° 11, 2002.

⁴ La red Vial en El Salvador, Análisis de Competencias y Recursos.

Ante tal situación, se desarrolla un análisis técnico y económico del diseño de una mezcla de concreto compactado con rodillo para bacheo, tomando en cuenta la resistencia a la compresión y flexión (la flexión solamente se determinara en laboratorio) de la mezcla. El diseño se elaborará con agregados de venta y uso común en la zona occidental de nuestro país, así también se utilizará “cemento tipo GU”⁵ que es de uso general, para proponer un método que sea práctico y factible al momento de su aplicación, por su facilidad de fabricación y el fácil acceso a la compra de los materiales necesarios que lo conforman.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 GENERAL:

- Evaluar las Factibilidades Técnica y Económica del diseño de una mezcla para Concreto Compactado con Rodillo como alternativa de bacheo para pavimentos flexibles.

1.4.2 ESPECIFICOS:

- Diseñar la mezcla de CCR en el laboratorio, según los lineamientos mencionados en ACI 211.3R.
- Utilizar el diseño de la mezcla en la reparación de un tramo de calle seleccionada (tramo de calle urbana con aproximadamente 100 metros de longitud.) con un número no mayor de 5 baches en la zona occidental de El Salvador, sustituyendo la estructura del pavimento flexible por una rígida formada de una sola capa de Concreto Compactado.
- Determinar el costo por metro cuadrado de Concreto Compactado con Rodillo para reparación de baches.
- Tomar muestras de la mezcla de CCR hecha en campo, para verificar su resistencia en laboratorio.

⁵ASTM C1157 tipo GU

1.5 ALCANCES.

Elaboración del diseño de una mezcla de Concreto Compactado con Rodillo con una resistencia de 45 kg/cm² a flexión y de 280 kg/cm² a compresión a 28 días. Utilizando dosificaciones de acuerdo al método “Proctor Modificado”⁶, bajo condiciones ambientales en el lugar de fabricación y usando materiales (agregados, cemento y agua), a los cuales se les realizarán las pruebas de resistencia requeridas, de acuerdo a las normas de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales y/o Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (ASTM y/o AASHTO por sus siglas en inglés) según se requiera. Realizar un estudio de costos, para establecer una comparación de la reparación de baches utilizando el método de CCR con respecto a otro método tradicional de bacheo utilizado en el país, para verificar que tan económico o no puede resultar dicha técnica.

1.6 LIMITACIONES.

El estudio se limitará solamente a dos pruebas destructivas de la mezcla de CCR en laboratorio las cuales son: resistencia a la compresión y flexión. En campo se verificara nada más la resistencia a la compresión.

Se realizará el diseño de la mezcla solo con agregados provenientes de la Cantera Gravas de Occidente, ubicada en la zona occidental del país, la cual se encuentra a la altura del botadero de basura del Cantón Cutumay Camones carretera Metapán-Santa Ana para la grava, en el caso del agregado fino se obtendrá del Río Las Cañas en Apopa, siendo uno de los bancos naturales más comúnmente utilizados en la zona occidental del País.

Además no se contará con equipo de laboratorio con el cual se puede controlar en campo la humedad de los agregados.

⁶AASHTO T-180 (American Association of State Highway and Transportation Officials)

1.7 JUSTIFICACIONES.

Las reparaciones de pavimentos flexibles son normalmente, actividades de conservación de rutina, debido al deterioro de la estructura, pérdida de resistencia o fatiga. Uno de los deterioros más críticos que sufre una estructura de pavimento flexible es el bache que en otras palabras es un agujero en el pavimento, afectando de esta manera que no sea transitable, confortable y seguro; siendo estos los beneficios que este tipo de estructura debe de brindar al usuario. Por tal razón se realizan reparaciones de baches en las diferentes calles y carreteras de nuestro país, es una actividad que se ha incrementado y que se ve muy a menudo. Con la implementación de un nuevo método como lo es el Concreto Compactado con Rodillo para bacheo, se pretende contar con una alternativa técnica y económicamente factible para la reparación de estos y el mejoramiento de las arterias dañadas, ya que esta técnica plantea lo siguiente: no se requiere de un equipo especial para su fabricación en la obra, la mezcla es seca por lo cual presenta un asentamiento o revenimiento, prácticamente 0 (cero) y por esto, dar además apertura inmediata al tráfico.

La utilización del CCR, como nueva alternativa de mantenimiento en la reparación de baches sobre pavimentos flexibles, puede llegar hacer una técnica para mantener en buen estado la estructura del pavimento, debido a su resistencia a la compresión y flexión. Por lo anteriormente expuesto, se justifica la elaboración del documento: “ANALISIS TECNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR”

CAPITULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCION

El Concreto Compactado con Rodillo está definido como un concreto seco el cual consta de un bajo contenido de agua y un revenimiento casi cero. El diseño de la mezcla se basa en un método, el tratar la mezcla como un suelo, el contenido del material cementante se determina como un porcentaje (en peso) respecto al peso seco de los agregados (arena y grava), el cual debe ser el necesario para alcanzar la resistencia deseada. El método en que se basa el diseño de la mezcla es en la determinación de un contenido óptimo de humedad, el cual genera una densidad máxima, dicho contenido de humedad óptimo se obtiene mediante el ensayo Proctor modificado AASHTO T180. En la elaboración de la mezcla del concreto compactado con rodillo, es muy importante que los materiales cuenten con una buena granulometría, por tal razón los agregados de la mezcla del concreto compactado rodillo tienen que cumplir con una gradación la cual este dentro de la franja de control del comité ACI 211.3R. Las mezclas de CCR tienen que cumplir con los requerimientos de resistencia para los que se necesita dicho concreto.

2.2 DEFINICION DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

El concreto compactado con rodillo es un material constituido por agregados (grueso y fino), cemento, agua (en menor cantidad que para un concreto convencional), es una mezcla con un contenido de agua bajo, con revenimiento o asentamiento cero, lo cual permite su vibro compactación externamente.

En la norma Cement and Concrete Terminology (Terminología del cemento y el concreto) (ACI 116R-90), el American Concrete Institute (ACI) define el concreto compactado con rodillo (RCC, *roller-compacted concrete*) como: Concreto que se compacta por medio de compactación con rodillos; concreto que, en su estado no endurecido, soportará un rodillo mientras se está compactando.

El CCR se diferencia del convencional en cuanto a su contenido de agua y de cemento, ya que esta mezcla se considera seca, en la cual el agua utilizada es

la necesaria para que se realice la hidratación y distribución de la pasta en los agregados y así pueda hacerse la compactación externamente sin que los equipos vibratorios se hundan en la mezcla.

2.3 APLICACIONES DEL CCR.

El Concreto Compactado con Rodillo puede ser considerado para su aplicación en lugares donde el concreto con asentamiento nulo pueda ser transportado o fabricado, colocado y compactado usando equipos de construcción para obras de tierras. Las aplicaciones del CCR son varias, se ha usado en la construcción de carreteras, de presas hidroeléctricas y en reparaciones de pavimentos flexibles referentes a baches. Así también el diseño de la mezcla a presentar en este trabajo tendrá su aplicación en los pavimentos flexibles especialmente en el mantenimiento de estos, las reparaciones que se cubrirán serán los baches u oquedades sobre el pavimento, sustituyendo toda la estructura flexible por una rígida que será el CCR.

2.4 CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA.

El diseño de la mezcla del Concreto Compactado con Rodillo, se basa en tratar a la mezcla como un suelo o más bien a todos los materiales que lo forman (arena, grava, cemento), en el cual el contenido de cemento se determina mediante un porcentaje del peso seco de los agregados, dicho diseño está basado en la relación humedad-densidad.

Para agregados específicos (arena y grava) y un contenido de material cementante en porcentaje, determinando con ello un contenido óptimo de humedad para un grado de compactación de laboratorio que corresponde a un porcentaje como mínimo del 95%⁷ del grado de compactación o densidad aplicado por los equipos de compactación en el campo. La determinación de la

⁷ Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Sección 500, Pag.78

curva humedad-densidad para encontrar el Contenido Optimo de Humedad (COH) se realizará mediante la prueba Proctor modificado AASHTO T180.

2.5 MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).

Dentro de los materiales usados para el CCR se incluye material cementante (cemento tipo GU⁸), agregados (arena, grava) y agua.

2.5.1 MATERIAL AGLUTINANTE (CEMENTO)

El tipo de cemento seleccionado es el GU, ya que este cemento es de uso general en la construcción, además de su fácil obtención en el mercado.

2.5.2 AGREGADOS.

“La calidad del agregado y la granulometría son factores que influyen en el producto final del Concreto. Entre los diseñadores de mezclas de CCR, han surgido ligeras diferencias en la selección del tamaño máximo del agregado, la proporción de arena en la mezcla y el porcentaje de finos que pasa la malla N° 200 (0.75 mm).

La mayoría de las mezclas de Concreto Compactado con Rodillo con aproximación a suelos tienen un mayor porcentaje de finos, comparado con el contenido en las mezclas de diseño convencionales de concreto”⁹.”

En la selección del agregado para el diseño de la mezcla de Concreto compactado para bacheo, se tomará en cuenta que su uso está dirigido a

⁸ ASTM C 1157.

⁹ Tesis: Diseño de Mezcla de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos, pág. 13, Ing. Miriam Rossana Escalaya.

pavimento, por lo cual se seleccionará un tamaño máximo de agregado apegado a las dimensiones requeridas para pavimentos”¹⁰.

a. CALIDAD.

La calidad requerida de los agregados depende de las propiedades deseadas del CCR, principalmente de su resistencia. Los ensayos estándar que determinaran la calidad y características de los agregados se muestran en la Tabla 2.1

ENSAYO	DENOMINACIÓN DE ENSAYO	CARACTERÍSTICAS
Peso Unitario	ASTM C - 29	Peso volumétrico suelto y varillado para el agregado fino y grueso
Granulometría	ASTM C - 136	Análisis por tamizado de agregado grueso y fino.
Resistencia a la Abrasión	ASTM C - 131	Resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles
Gravedad Específica - Absorción	ASTM C - 127	Gravedad específica y absorción para el agregado grueso
	ASTM C - 128	Gravedad específica y absorción para el agregado fino

Tabla 2.1 Características y Ensayos para los Agregados. Fuente: Grupo de Tesis.

¹⁰ Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales SIECA, Sección 500, pág. 71.

b. GRANULOMETRÍA.

La granulometría y las proporciones usadas de agregado grueso (menor o igual que 19 mm) y fino tienen un importante efecto en las propiedades del CCR. La granulometría deseada se basa en cierto porcentaje de arena y de grava para formar una buena combinación de agregados gruesos y finos, con lo cual se busca que estos cumplan con una granulometría aceptable dentro de los rangos establecidos por el comité ACI 211.3R los cuales se muestran en la figura N°2.1.

2.5.3 AGUA.

El único requerimiento para el agua en mezclas de CCR es que ésta debe estar libre de cualquier agente contaminante o material orgánico que pueden inhibir el fraguado o la adecuada ganancia de resistencia.

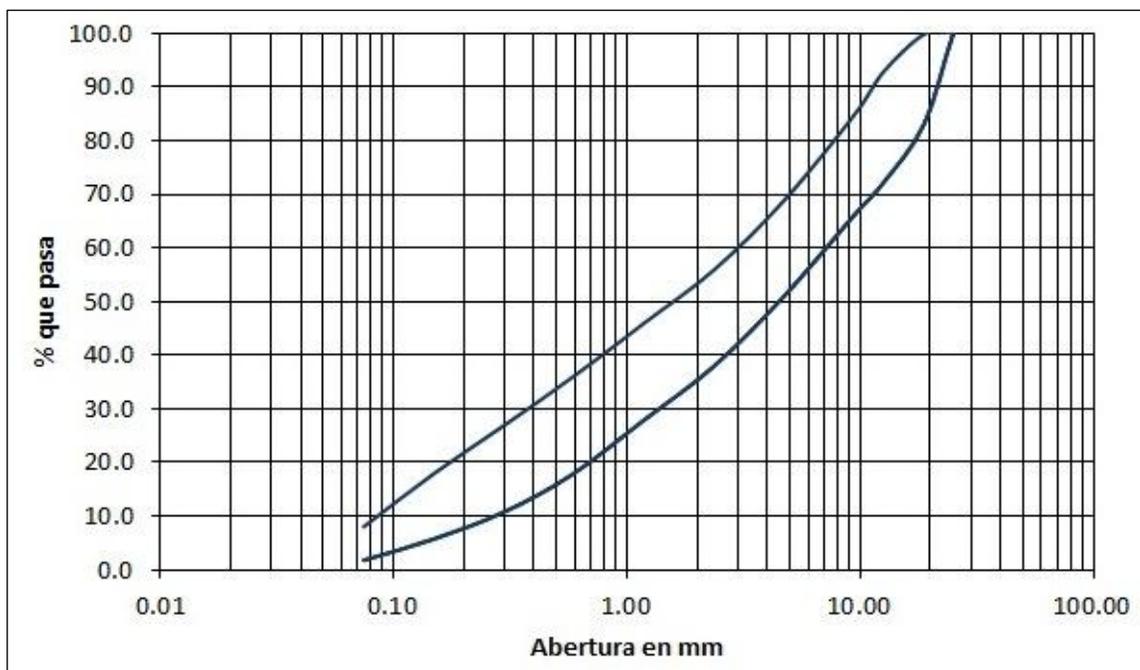


Figura N° 2.1 Rango típico de graduación de agregado para pavimento de CCR, según ACI 211.3R. Fuente: ACI 211.3.

2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

“Para el diseño de la mezcla y el Control de Calidad durante la construcción del bache, se utiliza equipo de laboratorio y procedimientos de ensayos estandarizados por organizaciones reconocidas, como ASTM, AASHTO T 180. Entre el equipo de laboratorio que se utiliza, martillo y moldes para ensayos de compactación de suelos descritos en ASTM D1557 o AASHTO T-180, martillo vibro compactador (martillo HILTI) para la elaboración de especímenes de vigas y cilindros (ASTM C - 1435), para determinar la resistencia a la flexión ASTM C78) y compresión (ASTM C-39) de la mezcla respectivamente, densímetro nuclear, etc.”¹¹

Los ensayos de laboratorio se realizarán a efecto de establecer la dosificación a emplear, teniendo en cuenta los materiales. Para la elección de las distintas dosificaciones a ensayar, deberán establecerse las curvas densidad seca contra humedad, mediante el Proctor Modificado, prueba AASHTO T-180, método D.

2.6.1 ENSAYOS DE CONSISTENCIA (AASHTO T-180)

En los ensayos de consistencia el principal propósito es obtener la cantidad de agua requerida para alcanzar las propiedades de resistencia deseadas y tener con ello un diseño de mezcla adecuada para la compactación externa por medio de un rodillo. Desde el punto de vista de conceptualización de suelos, el contenido de agua deseado es determinado por la relación densidad humedad. Para este ensayo, se usa una mezcla de Concreto Compactada con Rodillo en la que la única variable es el contenido de agua, ya que los agregados están definidos fijamente, para que cumplan con la granulometría especificada en el ACI 211.3 y el contenido del material cementante se fija en base al peso seco de los agregados y tomando en cuenta la resistencia que se desea.

¹¹ INFORME TECNICO “Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el CCR empleados en la construcción de pavimentos”, Carrillo Vásquez, 2003, Pág. 3

2.6.2 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES (ASTM C-1435 para Cilindros).

Los especímenes se preparan en moldes usados para la elaboración de cilindros de concreto estándar de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura (152 por 304 mm). Estos moldes son fácilmente disponibles y pueden acomodar agregados de tamaño máximo de 2 pulg. (50 mm). Normalmente se mantienen el número y altura de los golpes constante entre los especímenes lográndose uniformidad de resultados. Para la preparación de cilindros se utiliza el método de compactación por impacto, vibración o apisonamiento. Para el caso de esta investigación se utilizará para producir cilindros de CCR basándose en el método por apisonamiento, el cual puede ser conseguido por el uso de un pisón vibratorio impulsado eléctricamente que es el Martillo Hilti.

El Martillo Hilti es apropiado para mezclas de consistencia intermedia. La principal ventaja de su uso es que compactará con seguridad mezclas de CCR de cualquier consistencia. La duración del tiempo de compactación debe ser el necesario para alcanzar una compactación completa. Esto puede ser determinado usualmente por un operador entrenado, escuchando el sonido del Martillo y observando cuando las partículas de arena salen del molde en mezclas secas o cuando el pie del martillo se hunde en mezclas húmedas. Los cilindros tradicionales de 6 por 12 pulg (152 por 304 mm) han sido usados con el Martillo Hilti. Usualmente, el uso de cualquier aparato requiere una extensión de cilindro para compactar apropiadamente la parte superior.

2.6.3 PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO.

Existen métodos que pueden ser usados para compactar especímenes de CCR en el laboratorio. La técnica debe ser la apropiada para el rango y tipos de mezcla con las que se realizará el diseño, y usados para determinar la mejor mezcla para el proyecto. A través del equipo utilizado para la compactación de

especímenes de Concreto Compactado con Rodillo en el laboratorio se debe lograr la misma densidad y el contenido de vacíos alcanzados en el campo.

El principio básico es que el 100% de la resistencia máxima alcanzable será lograda por compactación de la mezcla en su consistencia más seca, que contiene cerca del 99% de la densidad teórica libre de aire. El contenido de humedad es el contenido de agua sobre la superficie saturada seca de los agregados dividido por el peso total de la mezcla, incluyendo el agua, material cementante, aditivos y agregados.

Sin embargo, debe resaltarse que la humedad óptima para obtener la resistencia máxima a la compresión resulta de una mezcla muy seca, la resistencia de la liga entre las capas de elevación probablemente se reduzca. La mezcla es simplemente muy seca para permitir que gran cantidad de pasta se mueva a través de ella y así cubra la superficie de la capa colocada previamente y asegure la máxima resistencia en la pega.

2.7 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

En la dosificación de mezclas de Concreto Compactado con Rodillo se producirá un material que utilice un diseño económico en base a materiales que puedan ser colocados por métodos de compactación con rodillo.

Todos los diseños de mezcla se deben iniciar con los mismos dos pasos: seleccionar las propiedades deseadas del CCR y luego determinar las propiedades de los materiales a ser usados.

2.7.1 MÉTODOS DE PROPORCIÓN DE MEZCLAS CON APROXIMACIÓN A SUELOS.

“Estos métodos inician el diseño con la granulometría deseada de agregados y conlleva la preparación de cilindros con varios contenidos de cemento para determinar las resistencias a compresión y flexión. Se inicia con una granulometría de agregados fija que involucra un método gráfico, además de la

variación de contenidos de material cementante para alcanzar la resistencia requerida, para luego realizar la comparación de resultados una vez que el contenido de agua es determinado.

En lugar de determinar el agua de manera visual, el óptimo contenido de humedad es determinado por los principios de humedad-densidad. El número de golpes de un martillo de 10 lb (4,5 Kg) que se deja caer de 18 pulg (450 mm) por unidad de volumen define el esfuerzo de compactación.

Para resolver el problema de la rotura del agregado con el apisonador normalizado del Proctor Modificado, encontrado por algunos investigadores, se puede usar un disco plano más grande de 5.5 pulg de diámetro (140 mm) con bordes redondeados.

Para muchos de los diseños de mezclas por concepto de compactación de suelos, los contenidos de cemento y en ocasiones puzolana son expresados como un porcentaje del peso seco del agregado. Los porcentajes son útiles en el proporcionamiento volumétrico del Concreto Compactado con Rodillo asociado con la mayoría de operaciones de mezclas con amasadora¹².

2.8 PROPIEDADES DEL CCR.

2.8.1 GENERALIDADES.

Las propiedades del Concreto Compactado con Rodillo dependen de la calidad de los materiales empleados, de la proporción de mezcla y del grado de compactación o consolidación.

Debido a que las mezclas de concreto compactado que conforman la aproximación a suelos usualmente contienen más del 2% de vacíos de aire, el grado de compactación juega un rol importante en la producción de resistencia. Los vacíos son producidos por el contacto partícula-partícula de los agregados

¹² Tesis: Diseño de Mezcla de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos, pág. 13, Ing. Miriam Rossana Escalaya.

sin suficientes finos o pasta para rellenar los vacíos. El incremento de la compactación tiende a disminuir estos vacíos, produciéndose un CCR más denso con un correspondiente incremento de la resistencia. Aunque en las mezclas con aproximación a suelos, se puede tener un mayor volumen de vacíos, todos los contactos de los agregados o los vacíos que se generan entre grava y grava, son llenados por la pasta del CCR.

2.8.2 RESISTENCIA

La resistencia del hormigón consolidado totalmente, viene principalmente por la relación agua/cemento. Aún con los bajos contenidos de agua usados en este tipo de concreto, la ganancia de resistencia al bajar el agua, indica que este componente siempre es suficiente para asegurar una hidratación continua.

2.8.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39.

Ensayos de resistencia a la compresión son desarrollados en la fase de diseño para determinar los requerimientos de la proporción de mezclas y optimizar la combinación de los materiales cementantes y agregados. La resistencia a la compresión es utilizada para satisfacer los requerimientos de cargas de diseño y también como indicador de otras propiedades tales como la durabilidad. Durante la construcción, los ensayos de resistencia a la compresión son usados para confirmar las propiedades de diseño como un instrumento para evaluar la variabilidad de la mezcla.

“La resistencia a la compresión es normalmente requerida, debida a su facilidad de determinación y a que muchas otras propiedades están directamente ligadas a ella. Se requieren usualmente edades de ensayo a los 3, 7, 28 días para Pavimentos de CRR. La resistencia a la compresión de dicho concreto está determinada por el contenido de agua, el contenido y las propiedades del material cementante, la granulometría del agregado y el grado de compactación.

La resistencia a la compresión del CCR se incrementa con una reducción en el contenido de agua, mientras que esté completamente compactado. La máxima resistencia a la compresión para una mezcla determinada se obtiene con el óptimo contenido de agua acorde con el esfuerzo de compactación dado. Los contenidos de agua menores que el óptimo producen resistencias a la compresión menores, indicando con ello que la presencia de vacíos en la mezcla tiene un efecto negativo mayor sobre la resistencia que el efecto positivo de reducción de agua.”¹³

¹³Tesis: Diseño de Mezcla de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos, pág. 35, Ing. Miriam Rossana Escalaya.

**CAPITULO III: DISEÑO DE
MEZCLA DE CCR UTILIZANDO
CONCEPTOS DE
COMPACTACIÓN DE SUELOS.**

3.1 INTRODUCCION

El diseño de la mezcla para Concreto Compactado toma en consideración la resistencia a la flexión, trabajabilidad, compactibilidad y durabilidad. En algunos países se han utilizado conceptos basados en consolidación de suelos para determinar las proporciones de la mezcla. En el Informe sobre Concreto Compactado con Rodillo, ACI 211.3 se desarrolla dicho método de conceptualización de consolidación de suelos. El comité plantea límites granulométricos con los cuales se tiene que cumplir para obtener una buena mezcla en la cual se conserven porcentajes de agregados finos y gruesos y que la granulometría este dentro de la franja de control.

Los agregados juegan un papel muy importante dentro del diseño de la mezcla por cual tienen que ser sometidos a ensayos como lo son: granulometría, gravedad específica y absorción, pesos unitarios y resistencia al desgaste (este únicamente para el agregado grueso), con los agregados ensayados y definidos los porcentajes de cemento y determinado el método del Proctor modificado a utilizar se procede a aplicar dicho procedimiento para encontrar la densidad máxima seca de compactación y el contenido de agua óptimo, determinado lo antes mencionado se diseña la mezcla para realizar especímenes de ensayo los cuales se sometieron a compresión y con estos resultados se selecciona la mezcla adecuada apegada a los requerimientos de resistencia que se buscan.

3.2 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CCR.

El método comprende el establecimiento de una relación entre el peso de la unidad en estado seco o húmedo y el contenido de humedad del Concreto Compactado con Rodillo a través de un arreglo de contenidos de humedad por compactación de especímenes. El contenido de materiales cementantes es determinado por la resistencia y es expresado como un porcentaje del peso total de los materiales secos (arena y grava) de acuerdo a la técnica seleccionada.

Los agregados finos y gruesos, se combinan para crear una mezcla bien graduada (la cual tiene que cumplir con los límites superiores e inferiores de la franja de control proporcionada por el ACI 211.3R). El volumen de la unidad de agregados finos y gruesos por el volumen de la unidad de CCR puede calcularse después de que el contenido de humedad óptimo de la mezcla es determinado.

El contenido de humedad óptimo de la mezcla se define como el porcentaje de humedad que corresponde al punto más alto de la curva humedad-densidad, y esta depende de las propiedades de los agregados usados y del contenido de materiales cementantes. La pérdida de fuerza ocurrirá en una mezcla que tiene un contenido de humedad significativamente debajo del óptimo debido a la presencia adicional de aire atrapado en los vacíos. La pérdida de fuerza también ocurrirá en una mezcla si el contenido de humedad es significativamente superior al óptimo debido a un aumento en la proporción de la relación agua-cemento (a/c). Se establecen curvas de humedad-densidad por encima de un arreglo de contenidos de materiales cementantes para determinar el contenido de cemento mínimo necesario que reúna los requerimientos de diseño que se buscan.

Se dirigen pruebas de humedad-densidad y se establece una curva humedad-densidad para cada contenido de material cementante. Se compactan especímenes mediante pruebas de fuerza lográndose contenidos de humedad óptima para cada uno de los contenidos de materiales cementantes en particular. De estas pruebas, una curva de fuerza contra el contenido de material cementante (o agua-proporción de material cementante) se establece para seleccionar la cantidad de cemento.

3.3 SELECCIÓN DE AGREGADOS.

En la selección de los agregados se encontrará las proporciones relativas de los distintos tamaños de partículas que los constituyen. La granulometría intenta

agrupar en varias clases a aquellas partículas cuya mayor dimensión se encuentra entre dos mallas de abertura cuadrada, seguidamente colocadas una sobre la otra.

Para el diseño de mezcla se realizan los siguientes ensayos de laboratorio, para verificar la calidad de los agregados provenientes de la zona occidental del País, de acuerdo a la norma ASTM C33 “Especificaciones Generales para Agregados para Concreto”.

3.4 PRUEBAS A LOS AGREGADOS.

3.4.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C 127 Y C 128).

La Gravedad Específica es la característica que se usa para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas constituidas por materiales pétreos (arena y grava), como por ejemplo el concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas sobre la base de un volumen absoluto.

El valor de la Absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado, provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca, cuando se evalúa el comportamiento del agregado al contacto del agua durante un período de tiempo largo, tal que se logre alcanzar el potencial de absorción del mismo.

3.4.1.1 RESUMEN DEL MÉTODO.

a. PARA EL AGREGADO GRUESO.

Una muestra de agregado de peso conocido, es sometida a saturación de agua por un periodo aproximado de 24 hr. Durante este tiempo, los poros de las partículas del material se llenan de agua. Después de este periodo, la muestra se remueve del tanque de saturación, sus partículas son secadas

superficialmente y se registra el peso de toda la muestra en esas condiciones tal se considera como Saturada Superficialmente Secas (SSS). Subsecuentemente se vierte la muestra en un recipiente con vertedor previamente aforado de agua, produciéndose un volumen de agua desalojado. Finalmente la muestra de material se seca al horno por 24 hr. A $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Usando el volumen y los pesos obtenidos, se pueden calcular la gravedad específica y la absorción del material pétreo ensayada (ver Formato 3.1).

b. PARA EL AGREGADO FINO.

Una muestra de agregado fino (pasa malla No 4), es saturada por un período de 24 hr, después del cual se seca superficialmente (condición Saturada Superficialmente Seco, SSS), para introducirla a un picnómetro en donde se registrará el peso de su volumen de agua desplazado. La Gravedad Específica determinada con este peso será G_s , con base al peso SSS. La Absorción del agregado fino es muy útil para este propósito, ya que conociendo su valor se puede determinar el peso seco de la muestra de ensayo (ver Formato 3.2).

3.4.1.2 PROCEDIMIENTO.

AGREGADO GRUESO.

1. La muestra para el ensayo debe ser representativa, para lo cual deberá ser tomada de un cuarteo para reducir su tamaño al necesitado. El material que pasa la malla N° 4 es eliminado a través de un tamizado seco de la muestra de ensayo. Esta muestra, debe lavarse vigorosamente a través de la malla No 8 con el objeto de remover el polvo adherido a la superficie del agregado grueso u otros recubrimientos presentes en la misma.
2. Secar el material obtenido a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 24 h. Luego dejar que se enfríe a una temperatura que sea confortable su manipulación. Seguidamente se sumerge el agregado en agua a la temperatura ambiente por un período de $24 \pm 4 \text{ h}$.

3. Remover la muestra de ensayo del agua y envolverla en un pañal absorbente hasta eliminar el agua superficial libre (Ver **Figura 3.1** Eliminación de brillo superficial). Las partículas grandes deben secarse individualmente. Luego que se ha logrado la condición Saturada Superficialmente Seca (SSS) se pesa al aire la muestra y se registra su peso como W_{SSS} .



Figura N° 3.1 Eliminación del agua superficial. Fuente: Grupo de Tesis.

4. Se afora el recipiente provisto de un vertedor con agua potable y sobre una superficie completamente horizontal.
5. Se seca la muestra de ensayo hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 h, después de lo cual se deja enfriar a temperatura ambiente para proceder a pesarla en estas condiciones. Este peso seco se registra como peso seco al aire.

3.4.1.3 CALCULOS.

$$\text{Agua} = W_{SSS(g)} + W_{Seco(g)}$$

$$\text{Absorción} = \frac{W_{SSS(g)} - W_{Seco(g)}}{W_{Seco(g)}} * 100$$

$$\text{G. E. Seca} = \frac{W_{Seco(g)}}{W_{SSS(g)} - W_{SUM(g)}} * 100$$

$$\text{G. E. SSS} = \frac{W_{SSS(g)}}{W_{SSS(g)} - W_{SUM(g)}} * 100$$

AGREGADO FINO.

1. Se elige una muestra representativa del material que pasa la malla No 4, se sumerge en agua por un período de 24 h, después del cual se seca para proporcionarle la condición Saturada Superficialmente Seca (SSS) ver siguiente figura 3.2.



Figura N° 3.2 Preparación del Agregado Fino para condición sss. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 3.3 Muestra de arena sumergida en agua. Fuente: Grupo de Tesis.

2. Para comprobar la presencia de agua superficial libre en las partículas del agregado, se vierte una porción del material dentro del cono truncado

de tal forma que este se llene completamente. Luego se aplican 25 golpes con el pisón compactador, sobre la superficie superior de la arena contenida en el molde como se muestra en la Figura 3.4. Cada golpe deberá caer de una altura de 5 mm (0.2 pul) sobre el borde superior del cono. En seguida se elimina el cono, en forma vertical (hacia arriba) y en forma lenta para no dañar el material compactado que contiene en su interior. Si el agregado mantiene la forma de cono truncado, indicará que existe agua superficial libre en el agregado, si por lo contrario el material se desintegra de las aristas del cono, manteniendo parte de su forma en forma de cono, se dirá que el agregado tiene la condición SSS.



Figura N° 3.4 Determinación de la condición SSS para el agregado fino. Fuente: Grupo de Tesis.

3. Para determinar la Absorción del material, se pesa al aire una muestra representativa de 500 g de peso del material SSS. Se seca al horno por un período de 24 h. a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y se registra como peso seco al aire a temperatura ambiente. La diferencia entre el peso del material en estado SSS y el peso seco, dividida por el peso seco, dará como resultado la Absorción del material.

4. Se determina el peso del picnómetro más agua hasta su marca de aforo, a la temperatura de ensayo.
5. Se pesa al aire una muestra de 500 ± 25 g de material SSS. Se deposita dentro del picnómetro teniendo cuidado de no perder material durante esta actividad. Un procedimiento alternativo podría ser, depositar una cantidad de material dentro del picnómetro y pesar este conjunto, se conocerá el peso del material depositado restando el peso de este conjunto menos el peso del picnómetro vacío.
6. Se deposita agua en el picnómetro hasta aproximadamente 90% de su capacidad y se tapa herméticamente. Se elimina el aire atrapado en el material, usando cualquier método de succión de vacíos. Aforar luego el picnómetro y verificar que se encuentre completamente seco en su exterior. Se registra el peso del conjunto Picnómetro + Agua + Agregado. El peso seco de la muestra se obtiene indirectamente de las ecuaciones de cálculo.

3.4.1.4 CÁLCULOS.

$$Agua = W_{SSS} (g) - W_{Seco} (g) \qquad Absorción = \frac{(S-A)}{A} * 100$$

$$G. E. Seca = \frac{A}{B+S-C} * 100 \qquad G. E. SSS = \frac{S}{B+S-C} * 100$$

De donde:

A= masa seca de la muestra

B= masa de picnómetro+ agua

C= masa de picnómetro+ agua + muestra

S= masa de la muestra SSS



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164*

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADOS GRUESOS			
ASTM C-127			
PROYECTO :	CCR PARA BACHEO EN ZONA OCCIDENTAL UES OCC	REF: _____	
MUESTRA:	GRAYAS DE OCCIDENTE		
UBICACIÓN :	LABORATORIO ISCYC		
F. DE MUESTREO:	13/03/2011		
F. DE ENSAYO:	17/03/2011		
LABORATORISTAS:	Ing. Ali García, Br. Oscar Herrera, Br. Leandra Morales, Br. Cerritos Hernandez		
REVISO :	Tec. Julio Hernández		
OBSERVACIONES:	_____		
HOJA DE LABORATORIO			
MUESTRA No: 1		MUESTRA No: 2	
MASA TARA (g):	20	MASA TARA (g):	20
MASA SATURADA, $W_{sss} + TARA(g)$:	3498	MASA SATURADA, $W_{sss} + TARA(g)$:	3570
MASA SATURADA, $W_{sss}(g)$:	3478	MASA SATURADA, $W_{sss}(g)$:	3550
MASA TARA SUMERGIDA (g):	849	MASA TARA SUMERGIDA (g):	849
MASA SUMERGIDA, $W_{sum} + TARA_{sum} (g)$:	3049	MASA SUMERGIDA, $W_{sum} + TARA_{sum} (g)$:	3095
MASA SUMERGIDA NETA, $W_{sum} (g)$:	2200	MASA SUMERGIDA NETA, $W_{sum} (g)$:	2246
MASA TARA/seca (g)	336.8	MASA TARA/seca (g)	206.2
MASA SECA, $W_{seca} + TARA (g)$	3745	MASA SECA, $W_{seca} + TARA (g)$	3686
MASA SECA, $W_{seca} (g)$	3138.20	MASA SECA, $W_{seca} (g)$	3479.80
AGUA (g)	339.80	AGUA (g)	70.20
ABSORCION, (%)	2.24	ABSORCION, (%)	2.02
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.45	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.66
GRAVEDAD ESPECIFICA \$\$\$:	2.72	GRAVEDAD ESPECIFICA \$\$\$:	2.72
FORMULAS:			
Agua: $W_{sss} (g) - W_{seca}(g)$ %			
Absorcion: $(W_{sss} (g) - W_{seca} (g)) \times 100 / W_{seca}$			
G. E. Seca: $W_{seca} (g) / (W_{sss} (g) + W_{sum} (g))$ %			
G. E. \$\$\$: $W_{sss} (g) / (W_{sss} (g) + W_{sum} (g))$ %			

Formato N° 3.2 Resultado de Prueba Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C-127. Fuente: Grupo de Tesis.

3.4.2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS (ASTM C-136).

3.4.2.1 GENERALIDADES

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre y con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm. Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

3.4.2.2 RESUMEN DEL METODO

Una muestra de suelo seco con peso conocido, es separada utilizando una serie de mallas progresivamente más pequeñas con el objeto de llegar a determinar la distribución de los tamaños que contiene el material a analizar. Al finalizar el proceso de separación mediante la utilización de mallas para el agregado grueso y el fino, se procede a graficar los porcentajes que pasan a través de cada malla en papel semi logarítmico y así tener la curva granulométrica del agregado.

3.4.2.3 PROCEDIMIENTO

3.4.2.3.1 AGREGADO FINO.

- a. Haciendo uso de las mallas gruesas, determinar el tamaño máximo de las partículas que componen al material selecto.

- b. Tomar de un cuarteo la cantidad en peso de material de ensayo, según Tabla 3.1 y anotar este peso en cuadro correspondiente como P1.
- c. Lavar el peso obtenido de material a través de la malla 200, a fin de eliminar más eficientemente los finos del material (esta actividad facilita el cribado de los finos), el material estará bien lavado cuando el agua del grifo pasa completamente limpia a través de esta malla.
- d. Una vez el material está bien lavado se coloca dentro de un horno por un período de 18 a 24 hrs a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- e. Transcurrido este tiempo se pesa de nuevo el material y se anota en el cuadro correspondiente como PL. El peso de los finos por lavado (FL) será la diferencia entre P1- PL, este valor se anota como FL.
- f. Tamizar el material de peso por las mallas finas, de la No 3/8 hasta la N° 200 y anotar en el cuadro correspondiente, los respectivos PESOS RETENIDOS PARCIALES obtenidos.
- g. Calcular la granulometría y elaborar la curva granulométrica correspondiente (ver Formato 3.3).

3.4.2.3.2 AGREGADO GRUESO.

- a. Haciendo uso de las mallas gruesas, determinar el tamaño máximo de las partículas que componen al material selecto.
- b. Tomar de un cuarteo la cantidad en peso de material de ensayo, según Tabla 3.1 y anotar este peso en cuadro correspondiente como P1.

- c. Tamizar el material por las mallas más gruesas hasta la malla No 4 y anotar en el cuadro correspondiente los respectivos PESOS RETENIDOS PARCIALES obtenidos.
- d. Calcular la granulometría y elaborar la curva granulométrica correspondiente (ver Formato N° 3.4).

AGREGADO FINO	
Tamaño Máximo Nominal	Masa mínima, g
No.4 (4.75 mm)	300
3/8" (9.5 mm)	1000
3/4" (19.0 mm)	2500
1 1/2" (37.5 mm)	5000
AGREGADO GRUESO	
Tamaño Máximo Nominal mm (in)	Peso de la muestra de ensayo, mínimo. Kg (lb)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 1/2)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 1/2)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
150.0 (6)	300 (660)

Tabla N° 3.1 Peso de la muestra de ensayo en función del tamaño máximo (ϕ_{max}) del Agregado.
Fuente: Norma ASTM C-136.

3.4.2.4 CALCULOS

Antes de iniciar los cálculos se debe verificar si las sumas de los Pesos Retenidos Parciales son iguales a sus respectivos pesos iniciales. Si no lo son, se procede a compensar por exceso o defecto en la malla de mayor retenido o distribuyendo el error equitativamente en todos los PRP.

Los cálculos para este ensayo se harán de acuerdo a la Tabla N° 3.2.

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	%QUE PASA	% QUE DEBE PASAR
3/8"	W1	$W1/WR*100(P1)$	P1	$100*P1$	100
N°4	W2	$W2/WR*100(P2)$	P1+P2	$100*(P1+P2)$	95-100
N°8	W3	$W3/WR*100(P3)$	P1+P2+P3	$100*(P1+P2+P3)$	80-100
N°16	W4	$W4/WR*100(P4)$	P1+P2+.....+P4	$100*(P1+P2+.....+P4)$	50-85
N°30	W5	$W5A/VR*100(P5)$	P1+P2+.....+P5	$100*(P1+P2+.....+P5)$	25-60
N°50	W6	$W6WR*100(P6)$	P1+P2+.....+P6	$100*(P1+P2+.....+P6)$	10-30.
N°100	W7	$W7/WR*100(P7)$	P1+P2+.....+P7	$100*(P1+P2+.....+P7)$	2-10.
FONDO	W8	$W8/WR*100(P8)$	P1+P2+.....+P8	$100*(P1+P2+.....+P8)$	
TOTALES	WR		100		

Tabla N° 3.2 Modelo de cálculo para la granulometría de agregados. Fuente: Norma ASTM C136.

3.4.2.5 RESULTADOS



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCC
Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENA ASTM C-136					
PROYECTO :	CCR BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES OCC				
SOLICITANTE :	GRUPO DE TESIS				
UBICACIÓN :	LABORATORIO ISCC				
TIPO DE MUESTRA:	ARENA				
FECHA DE MUESTREO:	13/03/2011				
FECHA DE ENSAYO:	16/03/2011				
LABORATORISTAS:	Ing. Ali García, Br. Oscar Herrera, Br. Leandra Morales, Br. Cerritos Hernandez				
REVISOR:	Julio Hernández				
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por Solicitante				
Modulo de finura					2.53
HOJA DE LABORATORIO					
MASA TARA, g -	MASA TARA + MUESTRA, g -			MASA MUESTRA, g -	
HALLA	N. RETENIDO PARCIAL [g]	MASA RETENIDA [g]	RETENIDO ACUMULADO [g]	QUE PASA LA HALLA [g]	OBSERVACIONES
					Rangos ASTM C-33
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
No.4	0.0	0.0	0.0	100.0	95-100
No.8	26.5	7.5	7.5	92.5	80-100
No.16	59.1	16.8	24.4	75.6	50-85
No.20	94.5	26.9	51.3	48.7	25-60
No.50	102.0	29.1	80.4	19.6	5-30
No.100	52.0	14.8	95.2	4.8	0-10
FONDO	16.9	4.8	100.0	0.0	
SUMAS	351.0	100.0			
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO ASTM C-33					SIMBOLOGIA: — Limite Superior — Curva Granulometrica — Limite Inferior

Formato N° 3.3 Análisis granulométrico de la Arena ASTM 136. Fuente: Grupo de Tesis.



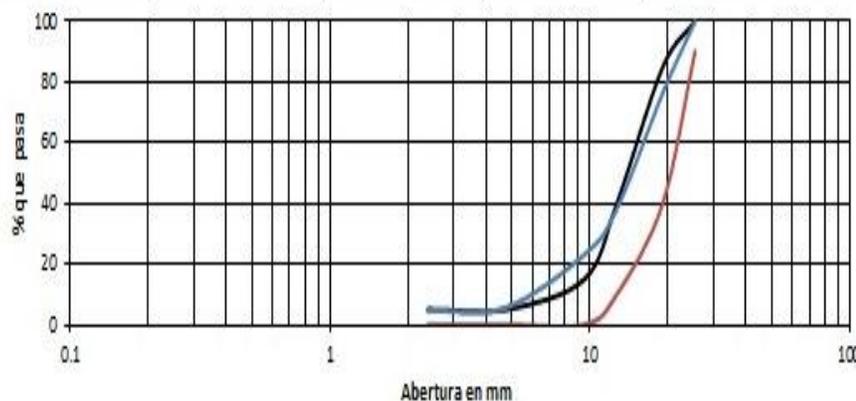
Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCC
Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GRAVA
ASTM C-136

PROYECTO: CCR PARA BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES OCC REF. _____
 UBICACIÓN: LABORATORIO ISCC
 TIPO DE MUESTRA: GRAVA
 FECHA DE MUESTREO: 13/03/2011
 FECHA DE ENSAYO: 16/03/2011
 LABORATORISTAS: Ing. Ali García, Br. Oscar Herrera, Br. Leandra Morales, Br. Cerritos Hernandez
 REVISÓ: Tec. Julio Hernandez
 OBSERVACIONES: _____

HOJA DE LABORATORIO

MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
2"	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	1942.0	23.6	23.6	76.4	
1/2"	3139.0	38.2	61.8	38.2	
3/8"	1242.0	15.1	76.9	23.1	
No. 4	1431.0	17.4	94.3	5.7	
No. 8	87.0	1.1	95.4	4.6	
No. 16	0.0	0.0	95.4	4.6	
FONDO	380.0	4.6	100.0	0.0	
SUMAS	8221.0	100.0			



Simbología:
 — Límite Superior
 — Curva Granulométrica
 — Límite Inferior

Formato N° 3.4 Análisis granulométrico de la Grava ASTM C 136. Fuente: Grupo de Tesis.

3.4.3 PESO VOLUMETRICO DE LOS AGREGADOS (ASTM C-29).

3.4.3.1 GENERALIDADES.

El Peso Unitario o Peso Volumétrico de un agregado es el peso del material necesario para llenar un recipiente de un metro cúbico. Se usa el término "peso volumétrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y los huecos entre sus partículas. Los métodos para determinar los Pesos Unitarios de los agregados pueden ser suelto y varillado.

El peso unitario es una propiedad necesaria para determinar los proporcionamientos de mezclas de concreto, así como también puede ser usado para determinar la relación masa/volumen, la cual es muy útil en la conversión de cantidades durante las compras de materiales acordadas. Aunque los agregados se transporten o almacenen con humedad absorbida o sobre su superficie, en este ensayo se determinará el peso unitario sobre la base del peso seco del material.

3.4.3.2 RESUMEN DEL METODO

Una muestra de material pétreo representativa, es depositada en un recipiente de volumen conocido en diferentes condiciones (suelta o compactada). El material colocado en condición suelta tendrá menos peso que cuando se coloca compactado (con una varilla de 5/8" con punta de bala).

3.4.3.3. PROCEDIMIENTO

- 3 Tomar una muestra representativa en cantidad. El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente de 1.25 a 2.0 veces la cantidad requerida para llenar el molde volumétrico. La muestra debe estar seca a peso constante, preferiblemente con secado al horno a 110 ± 5 °C durante 24 h.
- 4 Calibrar el molde volumétrico, haciendo uso de un método controlado de laboratorio, ya sea midiendo las dimensiones del mismo o llenándolo con agua a temperatura ambiente. Este volumen debe ser expresado en m³ y

se registra como VM. Se registra además el peso de este molde como Wmolde. Dentro de un laboratorio en funciones, este volumen deberá ser recalibrado por lo menos cada año.

- 5 Para obtener el PESO VOLUMÉTRICO SUELTO, se llena el molde volumétrico con agregados de la muestra de ensayo, dejando caer los agregados desde el cucharón, el cual deberá estar ubicado a una altura que no exceda las 2" del borde superior del molde. El material deberá formar un cono sobre la parte superior del molde. Luego se enrasa con la varilla apisonadora hasta lograr que los agregados estén aproximadamente a nivel con dicha parte superior del molde. Se registra el peso del conjunto Molde + muestra como Wmolde + agregado suelto.
- 6 Para obtener el PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO, se llenará el molde con agregados, haciéndolo en tres (3) capas sucesivas. Cada capa deberá apisonarse con la varilla de 5/8" con un número de varillazos igual a 25. Deberá procurarse que cada golpe de la varilla no penetre en más de 1 cm (1/2") dentro de la capa anterior varillada. Al final de la tercera capa, con el material sobrepasando el borde superior del molde, se enrasa este de tal manera que los agregados estén aproximadamente a nivel con dicha parte superior del molde. Se registra el peso del conjunto Molde + muestra varillada como Wmolde + agregado varillado.

3.4.3.4 CALCULOS

PESO UNITARIO SUELTO

$$PVS = \frac{W_{MOLDE+AGREGADO SUELTO} - W_{MOLDE}}{VOLUMEN DE MOLDE}$$

PESO UNITARIO VARILLADO

$$PVS = \frac{W_{MOLDE+AGREGADO\ VARILLADO} - W_{MOLDE}}{VOLUMEN\ DE\ MOLDE}$$

Dentro del ensayo para la determinación del peso volumétrico de la arena y de la grava (ASTM C – 29), se tiene que tomar en cuenta varias condiciones, para obtener mejores resultados, por tal motivo se detalla lo siguiente.

Se debe verificar que del proceso de ensayo:

- Las variaciones entre un peso volumétrico y otro de un mismo material, realizado por un solo operador no deberán variar en más de 14 kg/m³.
- Durante el varillado de tamaños grandes del agregado grueso, puede dificultar la penetración de cada capa introducida, para esto será necesario aplicar un vigoroso esfuerzo con el fin de lograr varillar cada capa sin que este varillado penetre significativamente en la anterior capa varillada.
- Es necesario realizar por lo menos 3 determinaciones del peso unitario, el resultado incluido en el informe será el promedio de estas tres determinaciones.
- El proceso de varillado tiene que ser ejecutado por una sola persona, ya que esto podría conllevar a resultados dispersos entre uno y otro ensayo.
- Cuando se realiza el Peso Unitario Suelto o Varillado, el material debe vaciarse en el recipiente desde una altura no mayor de 2 pulg (50 mm), respecto al borde superior del molde volumétrico.

3.4.3.5 RESULTADOS

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC <i>Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo</i> <i>Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164</i>			
PESO UNITARIO ASTM C - 29			
PROYECTO:	CCR PARA BACHEO EN ZONA OCCIDENTAL		
MUESTRA:	GRAVA		
UBICACIÓN:	LABORATORIO ISCYC		
F. DE MUESTREO:	13/03/2011		
F. DE ENSAYO:	17/03/2011		
LABORATORISTAS:	Ing. Ali García, Br. Oscar Herrera, Br. Leandra Morales, Br. Ricardo		
REVISO:	Téc. Julio Hernández		
OBSERVACIONES:			
HOJA DE LABORATORIO			
SUELTO		VARILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	5,437	A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	5,437
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0,00944	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0,00944
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	20,015	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	20,800
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	19,870	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	20,800
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	19,907	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	20,400
C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	14,494	C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	20,666
PESO UNITARIO (kg/m ³)	1535,3	PESO UNITARIO (kg/m ³)	2189,2
FORMULAS:			
C Masa Agregado Promedio: [MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO] - A =			kg
Peso Unitario: (C / B) =			kg/m ³

Formato N° 3.5 Peso Unitario de la Grava ASTM C 29. Fuente: Grupo de Tesis.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3ra etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo

Cuscatlán, La Libertad, Tel 2505 - 0162 y 2505 - 0163 Fax: 2505 - 0164

PESO UNITARIO

ASTM C - 29

PROYECTO:	CCR PARA BACHEO EN ZONA OCCIDENTAL
MUESTRA:	ARENA
UBICACIÓN:	LABORATORIO ISCYC
F. DE MUESTREO:	13/03/2011
F. DE ENSAYO:	17/03/2011
LABORATORISTAS:	
REVISO:	Téc. Julio Hernández
OBSERVACIONES:	

HOJA DE LABORATORIO

SUELTO		VARILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	1,73	A MASA RECIPIENTE VACÍO (kg)	1,73
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0,00284	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³)	0,00284
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5,548	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5,823
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5,529	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5,822
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5,508	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5,825
C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	3,798	C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	5,823
PESO UNITARIO (kg/m ³)	1337,4	PESO UNITARIO (kg/m ³)	2050,4

FORMULAS:

C Masa Agregado Promedio: [MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO] - A = kg

Peso Unitario: (C / B) = kg/m³

Formato N° 3.6 Peso Unitario de la arena ASTM C 29. Fuente: Grupo de Tesis.

3.4.4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C-131).

3.4.4.1 GENERALIDADES

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado. Esta característica es esencial cuando el agregado se va a usar en concreto sujeto a desgaste por abrasión, como lo es el caso de los pavimentos.

Los materiales a usarse en la construcción de carreteras deben ser duros y resistentes al desgaste ocasionado por el efecto mecánico de pulición del tráfico y los efectos abrasivos internos de cargas repetitivas.

Este ensayo es la medida más común de la dureza en los agregados, nos permite tener una idea, de la forma en que se comportaran los agregados, bajo los efectos de la Abrasión causados por el tráfico. Además nos proporciona una idea del grado de intemperismo que poseen los agregados. Los agregados intemperados tendrán valores de desgaste elevados, por lo que su uso podrá ser limitado o nulo, dentro de un proyecto de pavimentación. Los resultados del ensayo no deben utilizarse para hacer comparaciones inmediatas entre distintas fuentes en origen, composición, mineralógica o estructura de los agregados. Cuando se necesite utilizar las especificaciones de desgaste en resultados de ensayos de Desgaste, debe tenerse cuidado de tomar en consideración la disponibilidad de los mismos así como también sus usos a lo largo de su historia.

3.4.4.2 RESUMEN

Este método se desarrolla a través de una muestra de agregados de 5000 g, con una granulometría conocida, es introducida al tambor de la Máquina de Los Ángeles, dentro de este, la muestra es sometida a acciones de abrasión,

impacto y pulverización las cuales son ejecutadas por una carga abrasiva compuesta de esferas de acero. Esta carga abrasiva depende de la granulometría original que tenga el agregado a ensayar. La muestra se hace rotar dentro de la máquina a una velocidad de 33 rev/min, para un total de 500 rev. Después de lo cual, esta se saca y se tamiza por la malla No.12 (1.70 mm), para determinar por diferencia de pesos, el Porcentaje de material que pasa esta malla, lo cual representa el DESGASTE de la muestra ensayada.

3.4.4.3 PROCEDIMIENTO

- La muestra de prueba debe prepararse con agregado representativo del banco a utilizar. Esta muestra deberá ser lavada a través de la malla No.200 y secada a una temperatura entre los $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante.
- Separar el agregado en fracciones, haciendo uso de los tamices indicados en la Tabla 3.3 Luego esta granulometría se compara con los rangos de valores dados en la misma para obtener el tipo de granulometría del ensayo de Desgaste. En caso que los resultados difieran de los indicados, se recomienda considerar el tipo de granulometría más cercano al de ensayo.

MALLA N° (pulg)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA			
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
2"	100	100	-----	-----
1"	-----	75 - 95	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50- 85	60-100
N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50- 85
N° 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
N° 40	8_20	15 - 30	15-30	25 - 45
N° 200	2_8	5_15	5_15	8_15

Tabla N° 3.3 Tipos de granulometrías de comparación para los agregados a ensayar en la Máquina de Los Ángeles. Fuente: Norma ASTM C-131.

- Según la granulometría encontrada en el paso anterior, se procede a preparar la muestra de ensayo, atendiendo a los valores de la Tabla N° 3.4. Este peso se registra como B. La muestra así preparada y pesada juntamente con la carga abrasiva correspondiente según Tabla N° 3.5, se vierten dentro del tambor de la máquina de Los Ángeles. Se cierra la compuerta y se hace girar a una velocidad de 30 a 33 rpm, hasta completar 500 revoluciones; la máquina deberá mantener una velocidad periférica, sustancialmente uniforme (la marcha lenta o deslizamiento en el mecanismo propulsor es muy probable que dé resultados diferentes)

MALLA		Peso de los tamaños indicados (grs)			
PASA	RETENIDO	Grado			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 25			
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/4"	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8			2500 ± 10	
					5000 ± 10
	Total	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla N° 3.4 Pesos de los diferentes tamaños de agregados para el ensayo de Desgaste.
Fuente: Norma ASTM C-131.

GRANULOMETRIA	NUMERO DE ESFERAS	CARGA ABRASIVA, g
TIPO		
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla N° 3.5 Tamaño de la carga abrasiva según la granulometría. Fuente: Norma ASTM C131.

- Descargar el material de la máquina de Los Ángeles sobre una bandeja para luego separarla preliminarmente con una malla más gruesa que la malla No.12 (puede utilizarse la No.4), estos retenidos se lavan sobre la misma malla No.4 para eliminar de su superficie los finos adheridos y se colocan en una bandeja para introducirlos al horno posteriormente.
- El material que pasó la malla No.4 se tamiza por la malla No.12, debiendo luego lavarlos sobre ésta última a fin de eliminar los finos adheridos a las partículas retenidas. El material que pasó la malla No.12 se desecha.
- El material lavado sobre la malla No.12 se vierte sobre la bandeja que contiene al material lavado sobre la malla No.4, para someterlos a secado por 24 h a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Transcurrido este tiempo se saca del horno, se pesa y se registra su peso como W2, en la casilla del cuadro correspondiente.

3.4.4.4 CALCULOS

Calcular el Desgaste (%D). Utilizando la siguiente ecuación

$$\% D = \frac{W1 - W2}{W1} * 100$$

En la realización del ensayo de desgaste e impacto en la máquina de los ángeles es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones, las cuales ayudaran a expresar y obtener los mejores resultados.

Del proceso de ensayo

- a) Expresar el resultado del desgaste como un número entero.
- b) Asegurarse que la muestra de desgaste está completamente seca antes de iniciar el ensayo.
- c) Para obtener W1 y W2 utilice una balanza de 20 Kg. de capacidad con aproximación de 1.0 g.
- d) Asegurarse que durante el lavado no quedan finos adheridos a las partículas mayores que la malla No.12.
- e) Si el tamizado anterior al lavado fue corto, se deberá comprobar que después del secado no existe material que pase la malla No.12

3.4.4.5 RESULTADOS



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164

RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

SOLICITANTE	GRUPO DE TESIS	ENSAYO No	1
PROYECTO	CCRBACHEQUES-OCC	FECHA	18-mar-11
MATERIAL	GRAVA	LABS.	Ing. Ali Garcia
UBICACIÓN	LABORATORIO ISCYC	REVISO	Tec. Julio Hernandez
GRADUACION	B		
No. DE ESFERAS	11		
MASA DE LA CARGA	4584		
REVOLUCIONES	500		

MUESTRA No.	GRADUACION TIPO	MASA INICIAL (grs)	MASA FINAL (grs)	DESGASTE (%)
1	B	5000	4199.5	16.01

OBSERVACIONES _____

Formato N° 3.7 Resistencia al desgaste del Agregado Grueso ASTM C 131. Fuente: Grupo de Tesis.

3.5 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA.

Para determinar la proporción de los componentes (agregados, arena y grava), para usar en nuestro diseño de mezcla, es necesario determinar una combinación con agregados que tienen diferentes gradaciones, para producir una combinación de estos, que se encuentre dentro de las especificaciones de gradación para una mezcla en particular. La determinación de cantidades relativas de varios agregados, para obtener una gradación deseada, es un problema de proporcionamiento que puede ser resuelto mediante diferentes métodos, entre los que se encuentran un “método gráfico”¹⁴, dicho método es útil para determinar las cantidades en porcentajes que se tienen que agregar para cumplir con una granulometría deseada, la cual cumpla con los requerimientos establecidos para una gradación combinada de arena y grava que este entre los límites de la franja de control. El cual se elabora de la siguiente manera:

- A. Se elabora una gráfica en la cual se indiquen porcentajes de 0 a 100% (una línea horizontal superior y una inferior unidas por una línea vertical que indica los porcentajes de arena y grava, que generaran una gradación que se desea) que indicara el porcentaje de material que pasa y se señalara o se colocara con un punto la malla correspondiente a la cantidad del material que pasa, esto se muestra en dos líneas que indican una para grava que es A en nuestro caso (ubicada en la línea horizontal superior) y de igual manera para la arena que es B (la línea horizontal inferior). Al lado izquierdo de esta composición de dos líneas horizontales unidas con la vertical, se coloca otra línea en la cual se

¹⁴<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:txlyMXV7i5AJ:cuevadelcivil.blogspot.com/2011/04/combinaciondeagregados.html+metodo+de+proporcionamiento+grafico+para+combinar+agregados&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=sv>

indican porcentajes inversos de un material respecto al otro, uno asciende y el otro desciende como se muestra en la figura 3.5.

- B. Luego se indica en las líneas horizontales (la línea horizontal superior A que corresponde a la grava y la inferior a B que corresponde a la arena.) la malla con el respectivo porcentaje de material pasante por ella tanto en la línea inferior como en la superior.
- C. Con todo el literal B completo se comienzan a unir mallas comunes (si existen), en el caso que no se encuentren mallas comunes, se une con la que esta inmediatamente después de ella en la cual se retiene el material.
- D. Luego se procede a cortar las líneas las cuales se han unido como se explicó en el literal C, tomando como base las especificaciones de la franja (límite superior e inferior de la franja de control del ACI 211.3) en la cual quiere que entre la granulometría que se busca. Con todo esto ya determinado e indicado en la gráfica se traza una línea horizontal, de tal manera que todos los puntos indicados queden arriba y debajo de ella, viéndose así como una envolvente. Y cortando hasta la línea en la cual se indicaran la cantidad que se tiene que añadir de cada agregado para que cumpla con dicha proporción de agregados en la mezcla así como también que cumpla con la franja de control para el CCR. En nuestro caso el proporcionamientos de arena y grava es el siguiente: “A” grava 43.64% y “B” arena 56.36%, se aproximaron dichos porcentajes a números enteros para mejor trabajabilidad, grava 43% y arena 57%. Con los valores en porcentaje de arena y grava ya determinados se procede a generar la granulometría de la arena y grava ya combinados ver figura 3.6.

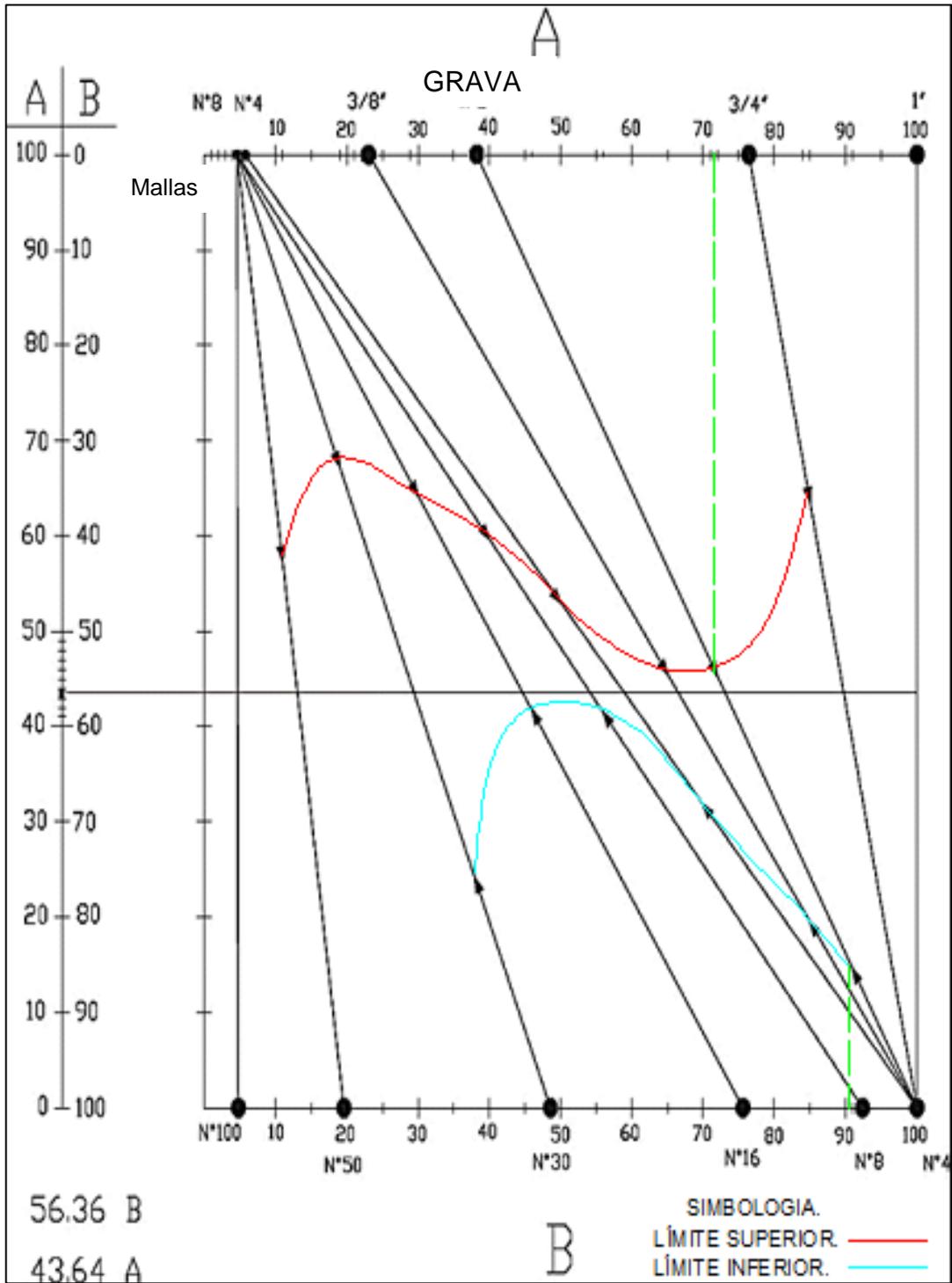


Figura N° 3.5 Grafica para el proporcionamiento de los agregados, "A" grava y "B" arena.
Fuente: Grupo de Tesis.

ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C-136.

MALLA	DIAMETRO (MM)	ACI RCC PAVEMENT MIXTURE		CURVA COMBINAD A (% que pasa)
		limite superior	limite inferior	
1"	25.40	100.0	100.0	100.00
3/4"	19.10	85.0	100.0	91.85
1/2"	12.70	72.0	91.0	76.63
3/8"	9.52	65.0	85.0	67.25
N° 4	4.76	50.0	70.0	57.50
N° 8	2.38	40.0	56.0	51.85
N° 16	1.19	30.0	46.0	43.49
N° 30	0.59	19.0	38.0	28.83
N° 50	0.30	11.0	29.0	12.61
N° 100	0.15	6.0	18.0	3.62
N° 200	0.0745	2.0	8.0	0.95

FRANJA DE CONTROL PARA LA COMBINACION DE AGREGADOS PARA EL CCR ACI 211.3R

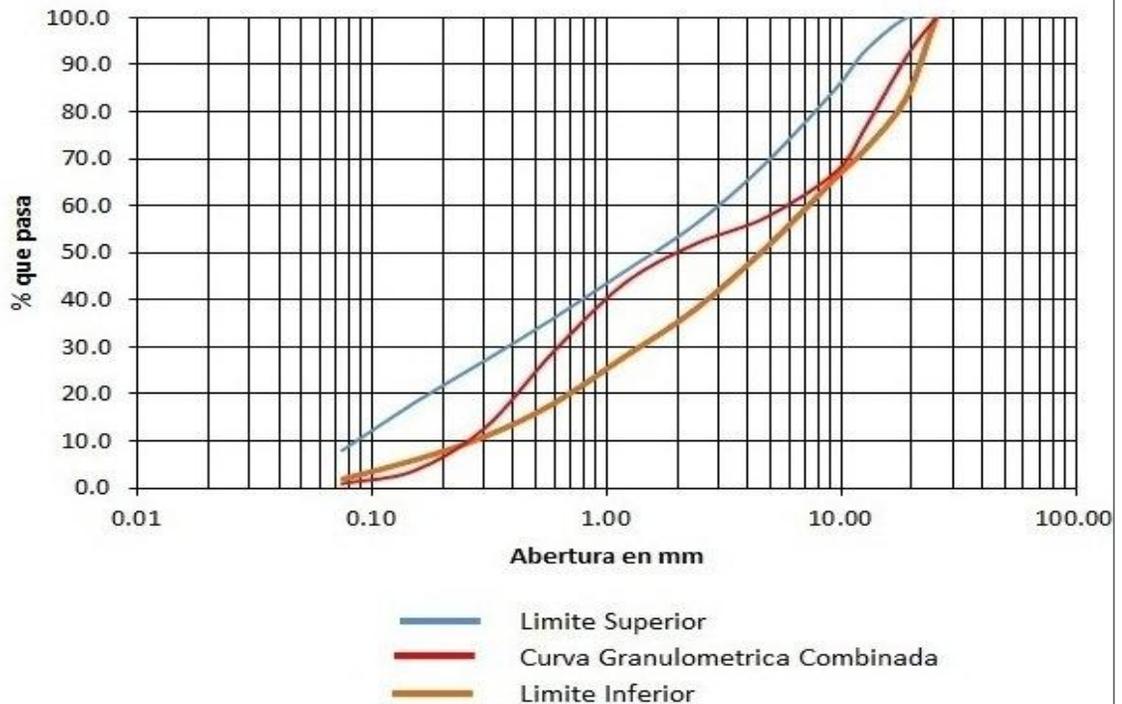


Figura N° 3.6 curva granulométrica combinada (ASTM C 136), dentro de la franja de control ACI 211.3 R. Fuente: Grupo de Tesis.

3.6 SELECCIÓN DEL MATERIAL CEMENTANTE

Con los agregados ya seleccionados y teniendo sus respectivas granulometrías, se puede seleccionar la cantidad de cemento a usar, en las mezclas de prueba. En el enfoque de suelos, el cemento a usar se expresa como un porcentaje del peso seco de los agregados.

El tipo de cemento a usar en esta investigación es el tipo GU¹⁵, con el fin de obtener una mezcla que conste con un cemento de fácil adquisición en el mercado. Los porcentajes de cemento que se utilizaron fueron del 8%, 12% y 18%, respecto al peso seco de los agregados seleccionados.

3.7 RELACION HUMEDAD DENSIDAD AASHTO T-180.

La dosificación para el diseño de mezcla realizado en nuestro estudio se efectuó mediante ensayos de compactación por impacto.

El método consiste en determinar el contenido óptimo de humedad o de agua y la máxima densidad de compactación en la mezcla de CCR, mediante el uso del método de ensayo AASHTO T-180.

3.7.1 PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T-180).

Este método, describe el procedimiento para encontrar la relación entre el contenido de humedad y el peso volumétrico seco máximo del suelo, para que con los datos obtenidos se pueda definir una curva de compactación. Esta compactación se realiza en un molde de tamaño dado (4" ó 6" ,101.6 ó 152.4 mm de diámetro) y se compacta con un martillo de 4.54 kg (10lb), que cae de una altura de 457mm (18pulg), produciendo una energía de compactación de 56000 lb-pie / pie³ (2700 KN-m / m³).

La Norma AASHTO T-180, establece procedimientos alternativos (métodos, ver Tabla N° 3.6), que pueden ser usados, si el material se adapta a lo especificado

¹⁵ ASTM C 1157, para todo uso.

por esos métodos; pero si este no lo está, se deberá hacer una modificación para adaptarlo a la graduación del material.

REQUISITOS	MÉTODO A	MÉTODO B	MÉTODO C	METODO D
Molde	4 pulg (101.6 mm)de diámetro	6 pulg (152.40 mm)de diámetro	4 pulg (101.6 mm)de diámetro	6 pulg (152.40 mm)de diámetro
Material que pasa la malla	No.4 (4.75mm)	No.4 (4.75mm)	3/4"	3/4"
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes por capa	25	56	25	56

Tabla N° 3.6 Procedimientos alternativos para realizar el ensayo de compactación. Proctor Modificado (martillo de 10 lbs de peso y altura de caída 18 pulg.). Fuente: Norma AASHTO T-180.

3.7.1.1 PROCEDIMIENTO

Antes de todo es importante saber la gradación del material a ensayar para poder determinar el procedimiento a usar. Para nuestro diseño tomando en cuenta que el tamaño máximo del agregado es de 3/4", se utilizaron las imposiciones del método D.

1. Se selecciona la cantidad en peso del suelo (agregados arena y grava), en nuestro caso son 5500 gramos combinados en total en una proporción ya definida (43% grava y 57% arena), esto con el fin de dibujar cada punto de la curva humedad-densidad.
2. Se calcula la humedad que tienen los agregados, para determinar el peso seco de estos y así poder conocer el peso de cemento a agregar para cada punto de la curva humedad-densidad.

3. Una vez determinado lo anterior se procede a agregar el porcentaje de agua (6%, 8%, 10%, 12%, 14%) que se pondrá al material para cada punto de la curva, determinándolo así: se multiplica el porcentaje proyectado de agua (expresado como un número decimal) por el peso de los agregados más el cemento (mezcla de materiales seca).
4. Iniciar la compactación por el punto de menor Humedad Proyectada, procediendo de la siguiente manera:
 - a) Colocar la muestra de 5500 gramos de agregados más el cemento. dentro de una bandeja cuadrada en la cual se puedan mezclar los materiales. luego agregar el agua proyectada para humedecerla completamente, esto debe realizarse con la ayuda del par de guantes de hule, hasta que el agua agregada este completamente distribuida en la muestra de agregados más cemento a compactar.
 - b) Una vez logrado lo anterior se prepara el molde con su collarín. Esto consiste en verificar que los tornillos sujetadores del cilindro a la base estén correctamente asegurados. En el molde así preparado se toman a modo de apreciación y de experiencia cinco marcas internas imaginarias, de la misma altura, las cuales indican el espesor de la capa suelta a compactar.
 - c) Colocar suelo (agregados más cemento) preparado (humedecido) dentro del molde atendiendo a las marcas hechas anteriormente en el interior del molde (Cada marca indica una capa de concreto a compactar), y proceder a la acción de compactar.
 - d) Cuando se ha compactado la última capa, se procede a eliminar el material compactado ubicado dentro del collarín. Esta actividad

debe completarse hasta que el material a eliminar, alcance la posición del material del cual se va a considerar su Peso Húmedo (material enrasado).

- e) Una vez logrado el ENRASADO se limpia externamente el molde y se pesa el conjunto Molde + Base + Suelo Húmedo y se registra este peso, dentro del cuadro de Control de Densidad, como P_{sh+m} .
- f) Realizar el control de Contenido de Agua, tomando las muestras para ello, del material que está en la bandeja antes de compactar la última capa. Estos datos se anotarán en el cuadro de Control de Humedad.
- g) Se desaloja el material contenido dentro del molde y se procede a compactar la siguiente muestra con la humedad correspondiente al siguiente punto.

5. Repetir para cada muestra a compactar, el proceso que está indicado desde el literal a) hasta el literal g).

3.7.1.2 CÁLCULOS

La determinación de la relación DENSIDAD-HUMEDAD requiere de los siguientes cálculos:

Volumen del molde para compactación (V)

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

En donde:

D = Diámetro del molde

h = Altura del molde

Contenidos de Agua de prueba.

$$\%W = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Dónde:

Ph = Peso húmedo de la muestra

Ps = Peso seco de la muestra

Pesos Unitarios Húmedos y Secos:

$$Ph = \frac{\text{Peso muestra húmeda}}{\text{volumen del molde}} = \frac{PMH}{V}$$

$$Pd = \frac{\text{Peso volumétrico húmedo}}{1 + \frac{\text{humedad control}}{100}} = \frac{Ph}{1 + \frac{\%W}{100}}$$

En donde:

P_h = Peso Volumétrico Húmedo

P_d = Peso Volumétrico Seco

Trácese los Pesos Volumétricos Secos (densidad) del suelo como ordenadas y los contenidos de humedad correspondientes como abscisas. Dibújese una curva continua que conecte los puntos trazados. El contenido de humedad correspondiente al punto máximo de la curva dibujada, se ha de denominar "Contenido Óptimo de Humedad" del suelo (o del CCR). El Peso Volumétrico Seco correspondiente a esa cantidad de Humedad Óptima se denominará Peso Volumétrico Seco Máximo.

3.7.1.3 RESULTADOS



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC
 Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD
AASHTO T - 180

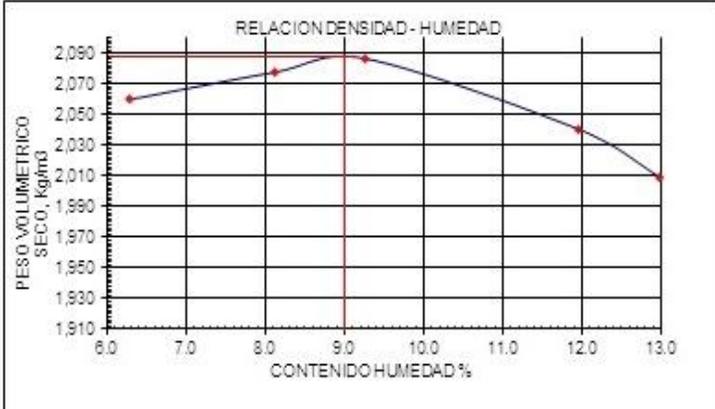
PROYECTO:	TESIS CCR PARA BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES OCC	REF.:	
UBICACION:	LAB. ISCYC	METODO:	D
FECHA MUESTREO:	30/03/2011	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	30 - 31 / MARZO / 2011	GOLPES P / CAPA:	56/5
ESTACIÓN:		LABORAT.:	Ing. Ali Garcia
OBSERVACIONES:		REVISO.:	Tec. Julio Hernández

PESO UNITARIO

ENSAYO No:	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	6.0%	8%	10.0%	12%	14%	
AGUA AGREGADA (C.C)	330	440	550	660	770	
PESO MUESTRA- MOLDE (g)	11130	11250	11320	11320	11300	Masa de la muestra (gr):
PESO MOLDE (g)	6521	6521	6521	6521	6521	5500
PESO MUES. HUMEDA (g)	4609	4729	4799	4809	4779	
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	2105	2105	2105	2105	2105	
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	2190	2247	2280	2285	2270	
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	2,060	2,078	2,087	2,041	2,009	

HUMEDAD

RECIPIENTE No:	R	V	C	D	T	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO-TARA (grs)	656.8	721.1	767.0	763.5	784.0	
PESO SECO - TARA (grs)	627.9	679.9	716.2	699.9	713.0	8% GU, ASTM1157
PESO AGUA (grs)	28.9	41.2	50.8	63.6	71.0	
TARA (grs)	168.3	172.6	167.4	167.4	166.0	
PESO SECO (grs)	459.6	507.3	548.8	532.5	547.0	
% HUMEDAD	6.3	8.1	9.3	11.9	13.0	



P.V.H. max. =	2211
P.V.S. max. =	2028
% De Humedad Up	9

www.iscyc.net

Formato N° 3.8 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 8 % de cemento.
 Fuente: Grupo de Tesis.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCYC

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD AASHTO T - 180

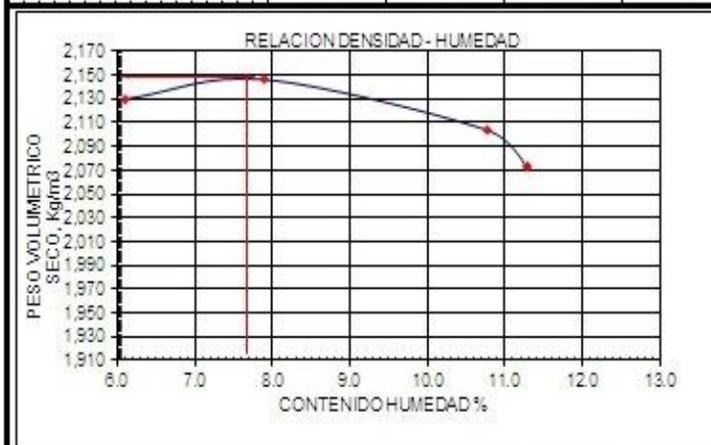
PROYECTO:	TESIS CCR PARA BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES OCC	REF.	
UBICACION:	LAB. ISCYC	METODO	D
FECHA MUESTREO:	18/04/2011	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	18 - 19 / ABRIL / 2011	GOLPES P / CAPA	56/5
ESTACIÓN:		LABORAT.:	Ing. Ali García
OBSERVACIONES:		REVISO:	Fec. Julio Hernández

PESO UNITARIO

ENSAYO No:	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATOR	6.0%	8%	10.0%	12%	14%	
AGUA AGREGADA (C.C)	330	440	550	660	660	
PESO MUESTRA- MOLDE	11279	11395	11426	11379	11379	Masa de la muestra (gr)
PESO MOLDE (g)	6521	6521	6521	6521	6521	5500
PESO MUES. HUMEDA (g)	4758	4874	4905	4858	4858	
CAPACIDAD MOLDE (cm ³)	2105	2105	2105	2105	2105	
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	2260	2315	2330	2307	2307	
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	2,130	2,146	2,104	2,073	2,073	

HUMEDAD

RECIPIENTE No:	c	V	R	T	S	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO-TARA (gr)	502.6	565.2	532.5	560.9	560.9	
PESO SECO-TARA (grs)	483.3	536.5	497.1	520.9	520.9	12% GU, ASTM1157
PESO AGUA (grs)	19.3	28.7	35.4	40.0	40.0	
TARA (grs)	167.5	172.7	168.5	166.1	166.1	
PESO SECO (grs)	315.8	363.8	328.6	354.8	354.8	
% HUMEDAD	6.1	7.9	10.8	11.3	11.3	



P.V.H. max. =	2303
P.V.S. max. =	2138
% De Humedad Up	7.7

www.iscyc.net

Formato N° 3.9 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 12 % de cemento.
Fuente: Grupo de Tesis.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC
 Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD
AASHTO T - 180

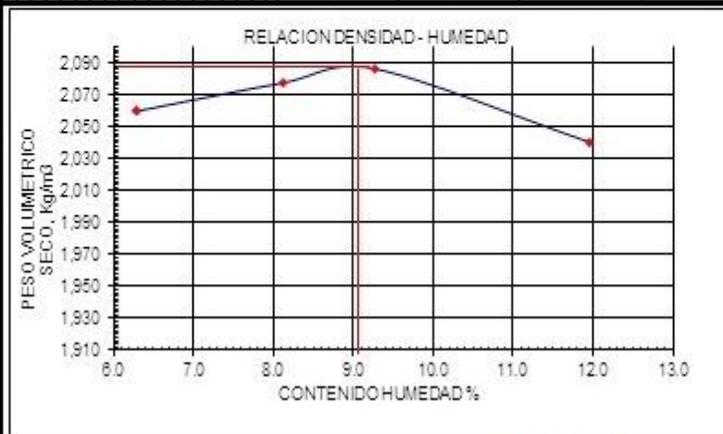
PROYECTO:	TESIS CCR PARA BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES OCC	REF.	
UBICACION:	LAB. ISCYC	METODO	D
FECHA MUESTREO:	03/05/2011	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	03 - 04 / MAYO / 2011	GOLPES P / CAPA	56/5
ESTACIÓN:		LABORAT.:	Ing. Ali Garcia
OBSERVACIONES:		REVISO.:	Tec. Julio Hernández

PESO UNITARIO

ENSAYO No.:	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO:	14.0%	6.0%	8.0%	10%	12%	
AGUA AGREGADA (C.C):	330	330	440	550	660	
PESO MUESTRA + MOLDE (g):	11130	11130	11250	11320	11330	Masa de la muestra (gr):
PESO MOLDE (g):	6521	6521	6521	6521	6521	5500
PESO MUES. HUMEDA (g):	4609	4609	4729	4799	4809	
CAPACIDAD MOLDE (cm ³):	2105	2105	2105	2105	2105	
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³):	2190	2190	2247	2280	2285	
PESO VOL. SECO (kg/m ³):	2,060	2,060	2,078	2,087	2,041	

HUMEDAD

RECIPIENTE No.:	T	R	V	C	O	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO + TARA (grs):	656.8	656.8	721.1	767.0	763.5	
PESO SECO + TARA (grs):	627.9	627.9	679.9	716.2	699.9	18% GU, ASTM1157
PESO AGUA (grs):	28.9	28.9	41.2	50.8	63.6	
TARA (grs):	168.3	168.3	172.6	167.4	167.4	
PESO SECO (grs):	459.6	459.6	507.3	548.8	532.5	
% HUMEDAD:	6.3	6.3	8.1	9.3	11.9	



P.V.H. max. =	2279
P.V.S. max. =	2089
% De Humedad Opt	9.1

www.iscyc.net

Formato N° 3.10 Resultados de prueba Proctor Modificada, proporción de 18 % de cemento.
 Fuente: Grupo de Tesis.

3.8 ELABORACION DE ESPECIMENES

3.8.1 PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA DE CCR PARA BACHEO

En esta etapa se incluye la elaboración del diseño de la mezcla de Concreto Compactado con Rodillo, basándose en los datos obtenidos del Proctor modificado AASHTO T 180 método D, así como también se toman en cuenta las características propias del CCR como lo es su consistencia seca que genera un revenimiento casi cero, el porcentaje de aire incluido que va desde 0.5% a 2%, además de las propiedades de los agregados (arena y grava) y la combinación de estos para generar una curva que este dentro de las normas granulométricas del ACI 211.3 en referencia a los porcentajes pasantes de la arena y de la grava combinados. Para determinar el diseño de mezcla a seleccionar se tuvo que realizar tres ensayos Proctor con diferentes porcentajes de cemento en base al peso seco de los agregados combinados, los porcentajes de cemento utilizado en cada Proctor fue del 8%, 12% y 18%, de esta manera se generaron 3 densidades secas máximas con su respectivo contenido de humedad óptimo y también se obtuvieron 3 diseños de mezclas basados en el ACI 211.3 en la sección de proporcionamiento de CCR mediante conceptos de compactación de suelos y mediante la tabla de Excel elaborada por el grupo la cual muestra los diseños de mezclas en las tablas N°3.8, 3.9 y 3.10, su uso se describe en el anexo 10.

Resultados obtenidos de las pruebas a los agregados se ven en la Tabla N° 3.7

Materiales	Identificación	Módulo de finura	Peso Unitario Varillado	Gravedad Especifica	Absorción
Cemento	ASTM C 1157 TIPO GU			2.91	
Arena	Rio las Cañas Apopa	2.59	1441.30 Kg/m ³	2.42	3.37 %
Grava	Gravas de Occidente		1613.31 Kg/m ³	2.72	2.03 %

Tabla N° 3.7 Características de los agregados y el cemento. Fuente: Grupo de Tesis.

Los diseño de mezcla que se obtuvieron mediante el ACI 211.3 fueron los siguientes considerando cada Proctor con cada porcentaje de cemento distinto (8%, 12% y 18%) y considerando la densidad seca máxima.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO EN PAVIMENTO ASFALTICO MEDIAN CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS											
ANALISIS TECNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.					FECHA: Mayo del 2011 HORA: 11:00 a.m.						
MEZCLA	Cemento	Relacion A/C	Tam. Max. Nom	Resistencia a Compresion		AGUA	CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION		PARA 1 BOLSA		
	8 %	1.13	3/4"	Resistencia a Flexion		APORTADA	HUMEDAD LIBRE %		CANTIDAD CORREGIDA		
DOSIFICACION						Lts	HUMEDAD Kg		PESOS 1 M ³		
DISEÑO Nº	1						%		VOLUMEN M ³		
MATERIAL	FUENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA	PESO SECO (KG/M ³)	VOLUMEN LITROS (L)	HUMEDAD % ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE %	HUMEDAD Kg	AGUA APORTADA Lts	CANTIDAD CORREGIDA PESOS 1 M ³	VOLUMEN M ³	
											PARA 1 BOLSA PESO KG
Cemento 1157 Tipo GU	HOLCIM	2.91	162	55.8					162	0.028	
Arena (57%)	Rio las Cañas Apopa	2.42	1063	499.5	1.35	3.37	2.02	21.5	1078	0.193	
Grava (43%)	Planta Graveras de Occidente	2.72	802	295.0	0.90	2.03	1.13	9.1	809	0.130	
Agua	Arda	1	183	182.5	si da positivo sumar →					213	0.056
Aire Atrapado				20.000						0.02	0.020
	sumas	PVMMax	2211 Kg/m3	992.683						2263 Kg/m3	0.407 m ³

Bolsas de cemento	3.8 Bolsa
-------------------	-----------

PROPORCIONES POR PESO

1 :	6.6 :	4.9 :
-----	-------	-------

Tabla N° 3.8 Determinación de la proporción de mezcla de CCR con un contenido del 8% de cemento.
Fuente: Grupo de Tesis.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO EN PAVIMENTO ASFALTICO MEDIAN CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS

ANALISIS TECNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.

FECHA : Mayo del 2011
HORA: 10:00

MEZCLA	Cemento	Relacion A/C	Tam. Max. Nom	Resistencia a Compresion	280 kg/cm ²
DOSIFICACION	12 %	0.76	3/4 "	Resistencia a Flexion	45 kg/cm ²
DISEÑO N°	2				

MATERIAL	FUENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA	PESO SECO (KG/M ³)	VOLUMEN LITROS (L)	CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION				AGUA APORTADA Lts	CANTIDAD CORREGIDA PESOS 1 M ³	PARA 1 BOLSA	
					HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE %	HUMEDAD Kg			PESO KG	VOLUMEN M ³
Cemento 1157 Tipo GU	HOLCIM	2.91	257	88.2						257	42.5	0.028
Arena (57%)	Rio las Cañas Apopa	2.42	1072	443.1	1.35	3.37	2.02	14.48	21.7	1087	177.7	0.123
Grava (43%)	Planta. Graveras de Occidente	2.72	809	297.4	0.90	2.03	1.13	7.28	9.1	816	134.0	0.083
Agua	Anda	1	195	194.6	si da positivo sumar →				30.8	225	37.3	0.037
Aire Atrapado				20.000						0.02	0.0	0.020
	sumas	PVMMax	2333 Kg/m ³	1043.306						2385 Kg/m ³	391.50 Kg	0.272 m ³

PROPORCIONES POR PESO

1: 4.2: 3.2

Bolsas de cemento	6.0 Bolsa
-------------------	-----------

Tabla N° 3.9 Determinación de la proporción de mezcla de CCR con un contenido del 12% de cemento. Fuente: Grupo de Tesis.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO EN PAVIMENTO ASFALTICO MEDIAN CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS

ANALISIS TECNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.

FECHA : Junio del 2011
HORA: 10:00 a.m.

MEZCLA	Cemento	Relacion A/C	Tam. Max. Nom	Resistencia a Compresion	280 kg/cm ²
	18 %	0.51	3/4 "	Resistencia a Flexion	45 kg/cm ²
DISEÑO Nº	3				

MATERIAL	FUENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA	PESO SECO (KG/M ³)	VOLUMEN LITROS (L)	CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION			AGUA APORTADA Lts	CANTIDAD CORREGIDA PESOS 1 M ³	PARA 1 BOLSA	
					HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE %			PESO KG	VOLUMEN M ³
Cemento 1157 Tipo GU	HOLCIM	2.91	376	129.2					376	42.5	0.028
Arena (57%)	Rio las Cañas Apopa	2.42	976	403.5	1.35	3.37	2.02	13.18	990	110.4	0.077
Grava (43%)	Planta. Graveras de Occidente	2.72	737	270.8	0.90	2.03	1.13	6.63	743	83.3	0.052
Agua	Anda	1	190	190.1	si da positivo sumar			→	218	24.7	0.025
Aire Atrapado				20.000					0.02	0.0	0.020
	sumas	PVMMax	2279 Kg/m3	1013.588					2327 Kg/m3	260.77 Kg	0.181 m ³

PROPORCIONES POR PESO

1: 2.6: 2.0

Bolsas de cemento 8.8 Bolsa

Tabla N° 3.10 Determinación del proporcionamiento de mezcla de CCR con un contenido del 18% de cemento.
Fuente: Grupo de Tesis.

3.8.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CAPAS Y EL TIEMPO DE COMPACTACIÓN. (Método usado en tesis Diseño de Mezcla de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos, Ing. Miriam Rosanna Escalaya).

Con la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad determinados a través del ensayo Proctor modificado, se procede a la determinación del número de capas en las cuales se compactara el CCR dentro de los cilindros y el tiempo que durara la compactación, este número de capas y el tiempo de compactación con el martillo vibrocompactador tendrán que generar una densidad mayor o igual al 95% de la densidad encontrada mediante el Proctor. Para encontrar estos dos parámetros de compactación se realizó un cilindro de prueba con el 8% de cemento, se seleccionaron 4 capas y 45 segundos de compactación, al usar 45 segundos de compactación y cuatro capas se obtuvo una densidad o peso volumétrico de compactación del 99.9% respecto al peso volumétrico o densidad encontrada con el método Proctor, con esta densidad alcanzada se puede decir que con 45 seg de compactación y cuatro capas de CCR se alcanza el porcentaje de compactación deseado. Al realizar los especímenes con un contenido mayor al 8% de cemento se procederá a aumentar el tiempo de compactación.

3.8.3 MOLDEO DE CILINDROS UTILIZANDO MARTILLO VIBRATORIO (ASTM C-1435).

3.8.3.1 RESUMEN.

La práctica consiste en el moldeado de especímenes cilíndricos de CCR para someterlos a ensayos de compresión, estos se moldean usando un martillo vibrocompactador (martillo Hilti). Estos cilindros son moldeados en 4 capas y

con un tiempo de compactación acorde al porcentaje que se desea alcanzar en relación al del Proctor, en nuestro caso para el 8% de cemento es un tiempo de compactación de 45 segundos. Y el tiempo aumentara conforme suba el porcentaje de cemento.

3.8.3.2 EQUIPO.

- Molde cilíndrico de 150 mm. (6") de diámetro por 300 mm. de altura, conforme a los requerimientos de la Especificación ASTM C-470.
- Martillo vibratorio (martillo Hilti), con una masa mínima de 10 ± 0.2 Kg. (22 ± 0.4 lb.), 900 W de potencia y capaz de proveer al menos 2000 impactos / min.
- Placa apisonadora de acero, de forma circular, con un diámetro de 140 ± 3 mm ($5 \frac{3}{4} \pm \frac{1}{8}$ in) y una masa de 3 ± 0.1 Kg. (6.5 ± 0.2 lb.)
- Collarín para lograr compactar por encima del límite del cilindro.
- Enrasador grande.
- Martillo de hule.

3.8.3.3 PROCEDIMIENTO.

1. Limpiar los moldes y cubrirlos con un aceite conveniente, sujetar muy bien el molde mediante abrazaderas o grapas a una base rígida y plana o permanentemente con el pie de soporte el martillo vibratorio tiene que quedar en el centro de tal manera que la placa golpeadora no toque las paredes del molde.
2. Colocar suficiente concreto en el molde para que sea llenado a un cuarto de su volumen después de su compactación, aproximadamente. Use una varilla para distribuir el concreto. Durante el vertido del concreto en los moldes se tiene que tener cuidado de colocar cantidades iguales para cada capa, además se tiene que tener el mayor cuidado en que el

concreto que se esté colocando con un cucharón en el molde se uniforme en cuanto a los finos y gruesos.

3. Coloque el martillo vibratorio con la placa apisonadora sobre el concreto e inicie la vibro compactación permitiendo que el concreto se consolide bajo la placa del martillo Hilti. Observe el concreto en el espacio anular como la pasta del concreto se sale por el espacio que se encuentra entre la pared del molde y la placa del martillo. Cuando el anillo de mortero se forme completamente alrededor de la placa, pare el martillo vibratorio esto se dará aproximadamente en el tiempo de compactación encontrado (ver Figura 3.7).



Figura N° 3.7 Compactación de cilindros con el Martillo Hilti. Fuente: Grupo de Tesis.

4. Repita los pasos anteriores para la segunda capa, en esta se agregara concreto hasta alcanzar el límite superior del cilindro, de esta manera al compactar dicha capa quedara aproximadamente a la mitad del molde, y de igual manera con las capas siguientes.
5. Cuando se vaya a compactar la última capa de concreto se tiene que colocar un collarín, de tal forma que este sirva de extensión para el

molde y así poder compactar el concreto por encima del límite superior del molde.

6. Enrasar el concreto con la orilla de una regla de acero o llana de mano o un corvo así será nivelado con el borde superior del molde. Termine la superficie del espécimen con una varilla de acero o plancha de madera evitando dañar la superficie del concreto.

3.8.4 MOLDEO DE VIGUETAS UTILIZANDO MARTILLO VIBRATORIO.

El proceso para el moldeo o la elaboración de las viguetas no tiene ninguna norma en la cual se puede basar, sin embargo, el método es similar al utilizado para la compactación de cilindros, estas fueron compactadas en cuatro capas con un tiempo de vibro compactación de 120 seg. Por capa, Así también, se hace necesario el uso de una extensión en la compactación de la última capa para una adecuada consolidación de esta (ver Figura 3.8).



Figura N° 3.8 Compactación de viguetas y colocación de collarín para compactación de la última capa. Fuente: Grupo de Tesis.

Los valores de los pesos volumétricos húmedos de las mezclas de concreto oscilaron entre 2152 kg/m³, 2263 g/m³, 2352 kg/m³ con el 8%, 12% y 18% de contenido de cemento respectivamente.

Con los especímenes elaborados se procede a colocarlos en lugares tales que no sufrirán ningún daño por golpe o de otro tipo, con los especímenes ubicados en tal lugar están listos para esperar un tiempo de 24 ± 4 horas para ser desmoldados. Los especímenes deberán ser curados a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, desde el moldeo hasta el momento de la prueba de estos. El curado final podrá realizarse en un tanque de almacenamiento o pila ver figura N° 3.9, medios barriles o en cuarto húmedo. En nuestro caso se curaron utilizando un tanque de almacenamiento y en medios barriles.



Figura N° 3.9 Curado de especímenes. Fuente: Grupo de Tesis.

3.9 PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.

3.9.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO (ASTM C-39).

3.9.1.1 GENERALIDADES

Esta prueba es realizada con el fin de mostrar la calidad del concreto a la compresión, es un método utilizado en todo el mundo para dichos fines, dicha resistencia depende de varios factores como lo son, forma y tamaño del agregado grueso, relación a/c, aditivos incorporados y el tipo de cemento.

3.9.1.2 RESUMEN.

Este ensayo consiste en medir la resistencia a la compresión. Dicha resistencia se mide rompiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección transversal que resiste la carga.

3.9.1.3 EQUIPO.

Máquina de compresión digital marca *Ele International*, con las siguientes características: Capacidad de carga de 250,000 lb-f (1,112 KN); Con un claro vertical de 12.5 pulg. (318 mm); y de 14.5 pulg. (368 mm) al ser removido el plato inferior y un claro horizontal de 9.0 pulg. (229 mm); Una bomba electro-hidráulica de 1 HP (0.7 KW), la cual posee una protección por las sobrecargas.

3.9.1.4 PROCEDIMIENTO.

1. La prueba a compresión de especímenes húmedos deberá hacerse en el menor tiempo posible, después de retirados del cuarto húmedo o del lugar en el cual se estén curando. El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más del 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.

2. Limpiar la superficie de los soportes superior e inferior de la prensa. Colocar el espécimen en el bloque de soporte inferior, para alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje superior (soporte con cabeza movable).
3. Verificar que el indicador de carga se encuentre en cero.
4. Mover el bloque de soporte inferior lentamente para poner el espécimen en contacto con los platos de compresión de la prensa.

5. Aplicar carga continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 Psi/s). durante el ensayo ajustar la válvula de inyección de aceite suavemente, con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga durante la última mitad de la fase de carga.

6. Registrar la máxima carga soportada por el espécimen. Para maquinas con indicadores de carga automáticos, no detener la aplicación de la carga hasta que disminuya más del 95% de la máxima carga. Calcular el esfuerzo de compresión con una aproximación de 0.1 MPa. (10Psi).

7. Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto. En formato correspondiente para este ensayo (ver Formato 3.11).

3.9.1.5 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION.

La resistencia a compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima soportada durante el ensayo entre el área promedio de la sección transversal del cilindro. El resultado se debe expresar redondeando al más próximo 1 kg/cm^2 . Y debe anotarse en el formato correspondiente cada dato que sea necesario para llevar a cabo este cálculo con el fin de tener un orden y control de los valores que se usan en este ensayo (ver Figuras 3.10 y 3.11).



Figura N° 3.10 Colocación del espécimen para ensayo de compresión. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 3.11 Especimen sometido a carga en máquina para determinar la resisten a compresión. Fuente: Grupo de Tesis.

3.9.1.6 RESULTADOS.

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164

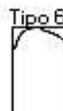
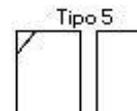
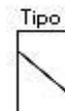
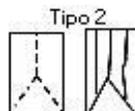
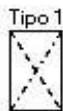


RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C-39

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMO
 PROYECTO: TESIS CCR PARA BACHEO
 UBICACION: ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR
 LABORATORISTAS: Tec. Samuel Ramirez
 SUPERVISO: Julio Hernández.
 TIPO DE MUESTRA: Cilindros de 6 x 12 pulg.
 OBSERVACIONES: Utilizando un porcentaje de cemento de 8%

CILINDRO No.	FECHA Calada	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (pulg)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
Curado de Laboratorio (Estandar) f'c 280 kg/cm ² ; Hora de Ensayo 10:00 a.m.												
1	12/04/11	15/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	11793	2166	7770	43	3
2	12/04/11	15/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	11660	2142	7300	41	3
3	12/04/11	15/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	11784	2164	7580	42	3
										Prom.	42	
1	12/04/11	19/04/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	11904	2186	9210	51	3
2	12/04/11	19/04/11	7	0/0	15.2	30.4	179.1	12062	2215	10820	60	3
3	12/04/11	19/04/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12200	2241	11290	63	3
										Prom.	56	
										Prom.		

Tipo de Falla:



FORMULAS:

Peso Volumétrico: $\text{Peso (g)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000 =$

Resistencia a la Compresión: $\text{Carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$

1 MPa = 9.81 kg/cm²

kg / m³

kg / cm²

Formato N° 3.11 Resistencia a la compresión diseño de mezcla con 8% de cemento y relación a/c = 1.13. Fuente: Grupo de Tesis.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur, Anáhuco
 Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164*

RESISTENCIA A LA COMPRESION
ASTM C-39

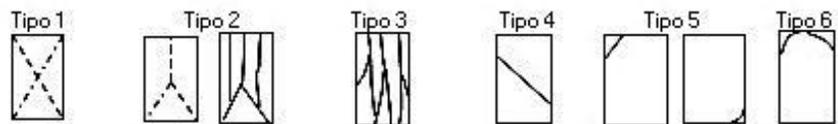
SOLICITANTE: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMO
 PROYECTO: TESIS CCR PARA BACHEO
 UBICACION: ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR
 LABORATORISTAS: Tec. Samuel Ramirez
 SUPERVISO: Julio Hernández
 TIPO DE MUESTRA: Cilindros de 6 x 12 pulg.
 OBSERVACIONES: Utilizando un porcentaje de cemento de 12%

CILINDRO Nº	FECHA Cada	FECHA Ruptura	EDAD (Días)	REV. (pulg)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
----------------	---------------	------------------	----------------	----------------	--------------	-------------	----------------------------	-------------	---------------------------------	---------------	---------------------------------	------------------

Curado de Laboratorio (Estandar) f'c 280 kg/cm²; Hora de Ensayo 10:00 a.m.

1	25/04/11	29/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	12345	2268	20700	116	3
2	25/04/11	29/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	12300	2259	16830	94	3
3	25/04/11	29/04/11	3	0/0	15.1	30.4	179.1	12185	2238	13010	73	3
Prom.											105	
1	25/04/11	02/05/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12324	2264	16840	94	3
2	25/04/11	02/05/11	7	0/0	15.2	30.4	179.1	12215	2243	15750	88	3
3	25/04/11	02/05/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12255	2251	17190	96	3
Prom.											91	
Prom.												

Tipo de Falla:



FORMULAS:

Peso Volumétrico: $\text{Peso (g)} / \text{Alt (cm)} \times \text{Area (cm}^2) \times 1000 =$

kg / m³

Resistencia a la Compresión: $\text{Carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$

kg / cm²

1 MPa = 9.81 kg/cm²

Formato N° 3.12 Resistencia a la compresión, diseño de mezcla con el 12% de cemento y relación a/c = 0.76. Fuente: Grupo de Tesis.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El Espino y Boulevard Sur,
Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164

RESISTENCIA A LA COMPRESION

ASTM C-39

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMO
 PROYECTO : TESIS CCR PARA BACHEO
 UBICACION : ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR
 LABORATORISTAS : Tec. Samuel Ramirez
 SUPERVISO : Julio Hernández.
 TIPO DE MUESTRA : Cilindros de 6 x 12 pulg.
 OBSERVACIONES : Utilizando un porcentaje de cemento de 18%

CILINDRO No.	FECHA Calada	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (pulg)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
Curado de Laboratorio (Estandar) f'c 280 kg/cm ² ; Hora de Ensayo 10:00 a.m.												
1	17/05/11	24/05/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12786	2349	34250	191	5
2	17/05/11	24/05/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12785	2348	34820	194	5
3	17/05/11	24/05/11	7	0/0	15.1	30.4	179.1	12758	2343	33470	187	3
										Prom.	193	
1	18/05/11	14/06/11	28	0/0	15.1	30.5	179.1	12635	2313	46160	258	3
2	18/05/11	14/06/11	28	0/0	15.2	30.5	181.5	12754	2304	43430	239	2
3	18/05/11	14/06/11	28	0/0	15.1	30.5	179.1	12598	2306	43020	240	2
										Prom.	249	
										Prom.		
										Prom.		

Tipo de Falla:



FORMULAS:

Para Volumétrica: $\text{Peso (g)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000$ -

kg / m³

Resistencia a Compresión: $\text{Carga (kg)} / \text{Area (cm}^2)$ -

kg / cm²

1MPa = 9.81 kg/cm²

Formato N° 3.13 Resistencia a la compresión, diseño de mezcla con el 18% de cemento y relación a/c = 0.51. Fuente: Grupo de Tesis.

3.9.2 RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO, USANDO VIGAS LIBREMENTE APOYADAS CON CARGAS CONCENTRADAS EN LOS TERCIOS DEL CLARO (ASTM C-78)

3.9.2.1 GENERALIDADES

El concreto normalmente se diseña para resistir compresión, en pocas ocasiones se diseña para soportar cargas a flexión, la resistencia a la flexión genera un valor con el cual se puede estimar la carga que desarrollará agrietamiento. La falta de agrietamiento en el concreto es importante para mantener la funcionalidad de una estructura de concreto y en muchos casos, para evitar la corrosión en el acero de refuerzo.

3.9.2.2 RESUMEN.

En este ensayo se usan especímenes prismáticos con cargas al tercio. De esta manera se tiene un tercio libre del espécimen sometido a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la falla se generara en cualquier punto de este tercio medio con la condición que pueda existir una debilidad.

3.9.2.3 EQUIPO.

Es el mismo equipo utilizado en el ensayo a compresión.

3.9.2.4 PROCEDIMIENTO.

1. Proteger el espécimen de la perdida de humedad, una pérdida de humedad disminuye la resistencia a la flexión.
2. Colocar las caras laterales del espécimen (caras encofrado) hacia arriba y centrar en los bloques de soporte.

3. Centrar el sistema de carga respecto a la fuerza aplicada.
4. Colocar los bloques superiores en contacto con la superficie del espécimen (en los tres puntos de apoyo) y aplicar una carga entre 3 y 6% de la última carga estimada.
5. Revisar que los espacios (depressiones) entre el espécimen y los bloques superiores y los apoyos no exceden de 0.1 mm (0.004 pulg) en una longitud de 25 mm (1 pulg).

Si una depresión excede de 0.1 mm pero es menor de 0.38 mm en una longitud de 25 mm, se permite el uso de correas de cuero que se extienden en el ancho del espécimen en las superficies de contacto.

6. Si una depresión excede 0.38 mm (0.015 pulg) en una longitud de 25 mm retirar el espécimen de prueba y la condición correcta de ensayo es con capeo o mediante pulido.
7. Repetir la sucesión de la lista de control desde el numeral 1.
8. Aplicar la carga a una proporción de que constantemente aumente la tensión de la fibra extrema, entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 Psi/min) hasta que ocurra la rotura.
9. Aplicar la carga al espécimen continuamente y sin impacto.
10. Tomar tres medidas por cada dimensión al plano de falla (uno a cada borde y al centro) con una aproximación de 1 mm (0.05 pulg).

3.9.2.5 CÁLCULO.

Si la fractura ocurre dentro del tercio medio, el módulo de ruptura debe calcularse como sigue:

$$R = \frac{Pl}{bd^2}$$

Dónde:

R: módulo de ruptura, en kg / cm²

P: máxima carga aplicada registrada por la máquina de prueba, en kg.

l: claro, en cm

b: ancho promedio del espécimen, en cm

d: peralte promedio del espécimen, en cm

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, en no más de cinco por ciento del claro, el módulo de ruptura se calculará como sigue;

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde a es la distancia entre la línea de fractura y el apoyo inferior más cercano, medida sobre el eje de simetría de la superficie de la viga, en cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, en más del cinco por ciento del claro, los resultados de la prueba deben descartarse.

3.9.2.6 RESULTADOS.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Laboratorio de Investigaciones ISCYC
Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur Antiguo
Cuscatlan, La Libertad Tel.2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164

ESFUERZO DE FLEXION EN CONCRETO
(USANDO VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO)
ASTM C-78

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

PROYECTO : TESIS CCR PARA BACHEO

UBICACIÓN : ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR

LABORATORISTAS Tec. Samuel Ramirez

TIPO DE MUESTRA : vigas de 24 X 6 pulg.

SUPERVISO : Julio Hernández

OBSERVACIONES : MR 45 Kg/cm², Utilizando un porcentaje de Cemento de 18%

VIGA Nº	FECHA Cada	FECHA Ruptura	EDAD (días)	REV. (pulg)	CLARO (L) (cm)	ANCHO (A) (cm)	PROFUNDIDAD (d) (cm)	MAZA (g)	CARGA (P) (kg)	MR (kg/cm ²)
1	17/05/11	24/05/11	7	0/0	46.0	15.4	15.5	---	3110	39
2	17/05/11	24/05/11	7	0/0	46.0	15.4	15.5	---	2380	30
3	17/05/11	24/05/11	7	0/0	46.0	15.4	15.5		2540	32
									Prom	34
1	18/05/11	14/06/11	28	0/0	45.5	15.4	15.4	---	3630	45
2	18/05/11	14/06/11	28	0/0	45.5	15.5	15.2	---	3810	48
3	18/05/11	14/06/11	28	0/0	45.5	15.4	15.4		3660	46
									Prom	47

FORMULAS:

Peso Volumétrico: $Masa (g) / [Alto(cm) \times Largo(cm) \times Ancho(cm) \times 1000] = kg/m^3$

Modulo de Ruptura: $Carga (kg) \times Claro(cm) / [Ancho(cm) \times [Profundidad(cm)]^2] = kg/cm^2$

1 MPa = 9.81 kg/cm²

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Formato 3.14 Resistencia a la flexión. Diseño de mezcla con 18% de cemento y relación A/C = 0.51. Fuente: Grupo de Tesis.

3.10 SELECCIÓN FINAL DE LA PROPORCIÓN DE MEZCLAS

La selección de las proporciones de todos los componentes de la mezcla de diseño está basada bajo dos consideraciones: la resistencia a compresión y flexión, según se detallan a continuación:

1. Los resultados de las pruebas a compresión de los cilindros, con diferentes contenidos de cementos (8%, 12% y 18% en base al peso seco de los agregados), nos llevan a seleccionar una mezcla con cierto porcentaje de cemento y con su óptimo contenido de humedad correspondiente. La mezcla seleccionada es la que consta con un 18% de cemento, dicha mezcla tiene su COH de 9.1% según Proctor modificado AASHTO T 180 (ver Formato N° 3.10) y su resistencia a compresión es de 249 kg/cm² a 28 días (ver Formato N° 3.13), siendo estos resultados favorables en nuestro estudio.
2. Los resultados de las pruebas a flexión de las vigas, fueron favorables con un 18% de cemento en la mezcla. Se buscaba un módulo de ruptura de 45 kg/cm² y con el porcentaje del 18% de cemento en la mezcla, se obtuvo un módulo de ruptura de 47 kg/cm² (ver Formato N° 3.14).

El contenido de cemento a usar en la mezcla con la cual se cumple la resistencia a flexión y compresión es de un 18%(en base a peso seco de los agregados) con un óptimo contenido de humedad de 9.1%, con un 43% de grava y un 57% de arena generando con esta combinación la granulometría acorde al ACI 211.3, determinando así la proporción del diseño de mezcla la cual cumple con los valores de compresión y flexión buscados (ver Tabla N° 3.10). Los pasos que se siguieron para realizar el diseño de la mezcla de CCR se detallan mediante un flujograma en el ANEXO 13.

CAPITULO IV

APLICACIÓN DE LA TECNICA EN CAMPO USANDO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LAS REPARACIONES DE BACHES EN PAVIMENTOS ASFALTICOS.

4.1 INTRODUCCION.

Luego de finalizado el diseño de la mezcla de concreto compactado con rodillo y con las proporciones definidas, como prioridad de nuestra investigación y planteado dentro de los objetivos, se procedió a la aplicación de esta técnica en campo seleccionando la Ciudad de Chalchuapa en el occidente de nuestro país y realizando una alianza con la alcaldía municipal, se procedió a la colocación de esta mezcla en el tramo definido por la comuna el cual contaba con un numero de baches de 5 aproximadamente y se priorizaron para la aplicación de esta técnica nada más 4, con los baches delimitados se procedió a la proceso de reparación del pavimento flexible el cual inicia con la selección y delimitación del bache a reparar, en este paso se indica cuáles son los baches que se van a reparar y se delimita la zona circundante de la reparación mediante el marcado con tiza o yeso en formas geométricas rectangulares con 30 cm como mínimo sobre pavimento en buen estado, el segundo paso es el que consta cortar y excavar el pavimento sobre la marca realizada en el paso anterior y dejando las paredes de la excavación lo más vertical que se pueda y el fondo horizontal, el paso tres consiste en la elaboración del concreto compactado mediante el diseño de mezcla determinado, el cuarto paso consiste en la colocación y compactación del concreto en la zona excavada, la compactación se realizó con un rodillo liso vibratorio y la compactación se finalizó cuando el nivel del concreto colocado en la zona a reparar ya no bajaba de nivel, esto como indicativo de la finalización de las pasadas del rodillo liso y para finalizar el proceso de bacheo se realiza el curado el cual consiste en la colocación de emulsión asfáltica sobre el concreto compactado y luego se aplica una capa de arena seca, con el proceso finalizado se puede abrir la vía al tráfico inmediatamente, este proceso se explica más detallado en el presente capitulo.

4.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA BACHEO PROFUNDO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR.

4.2.1 GENERALIDADES

El Bacheo Profundo consiste en la reparación, bacheo o sustitución de una parte muy deteriorada o dañada de la estructura de un pavimento flexible, cuando el daño afecte tanto a la capa asfáltica (carpeta de rodadura) como, a lo menos, parte de la base y subbase.

El objetivo del Bacheo Profundo es recuperar las condiciones estructurales y superficiales para una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, confort, rapidez y economía.

La actividad de Bacheo Profundo debe ser realizada en el menor tiempo posible después de que los baches se han desarrollado y su aparición es visible en el pavimento. Lo anterior requiere de inspecciones permanentes de la calzada con el fin de identificar su presencia prontamente después de su aparición. Especial atención se debe tener antes de las estaciones o períodos de lluvia, ya que en este periodo se podría generar un daño mayor a la estructura del pavimento en general.

El Bacheo Profundo es eficaz para tratar los siguientes tipos de daños en el pavimento:

- Áreas agrietadas por fatiga de la estructura del pavimento, caracterizadas por presentar una serie de grietas y fisuras interconectadas entre sí, las que forman trozos de ángulos agudos, normalmente menores a 30 cm en el lado más largo y muestran la presencia de pequeños trozos separados sueltos. Generalmente a este tipo de daño se le denomina “piel de cocodrilo”.

- Baches profundos, entendiéndose como tales aquéllos cuya profundidad es mayor de 50 mm.
- Sectores que presenten eyección de agua y/o finos desde el fondo del pavimento a través de las grietas; muchas veces estos lugares son claramente visibles después de un período de precipitaciones, por los depósitos de suelos finos que quedan como manchas de otro color sobre el pavimento.

Bache profundo: Es aquel en el cual el daño ya se ha presentado a nivel de base del pavimento o a una profundidad mayor¹⁶. Profundidad mayor a 50mm.

Concreto Compactado con Rodillo: es un material constituido por agregados (grueso y fino), cemento, agua (en menor cantidad que para un concreto convencional), es una mezcla con un contenido de agua bajo, con revenimiento o asentamiento cero, lo cual permite su vibro compactación externamente.

Concreto Compactado con Rodillo (CCR) para bacheo: dicha técnica tiene su aplicación desde varios años atrás, por lo cual no es una técnica nueva para brindar el mantenimiento a una red vial de pavimento flexible. La técnica combina un aspecto importante del concreto convencional, que es la fortaleza y una de las ventajas que muestra el CCR es su apertura al tránsito temprana.

Descripción: la técnica consiste en reconstruir local y específicamente áreas dañadas en la estructura del pavimento, sustituyendo toda la estructura flexible por una sola capa de Concreto Compactado con Rodillo CCR. Además de aquellas partes puntuales del pavimento en las cuales existan grietas, baches y/o deterioros los cuales puedan afectar la seguridad de la circulación y la comodidad del usuario. Además se llevara a cabo en obras provisionales que

¹⁶ Manual de Reparaciones Duraderas y de bajo Costo para Operaciones de Bacheo Utilizando Mezcla de Concreto Compactado, ISCYC página N°8.

han sido realizadas con anterioridad a un bacheo profundo, como lo es el caso del ahuellamiento y el bacheo provisional. Para esta técnica las dimensiones serán desde 15 cm hasta 20 veces el espesor del bache.

4.2.2 MATERIALES:

Cemento ASTM C 1157 tipo GU: El contenido de cemento oscila entre 10% y 17%¹⁷ (nuestra mezcla consta de un 18% de cemento) del peso total de los agregados en estado secos. Pueden emplearse cementos normales o de alta resistencia.

Agua: El porcentaje óptimo de agua varía entre el 4% y el 9% (el contenido óptimo de humedad para nuestra mezcla es del 9.1%) del peso seco de los materiales. Puede determinarse mediante el ensayo Proctor modificado AASHTO T180, el cual también definirá la $D_{máx}$ del material (2,2 gr/cm³ a 2,4 gr/cm³).

Arena: Debe ser arena del río las cañas extraída en el municipio de Apopa. Dentro del volumen total de los agregados la arena representará un 57% de estos.

Grava: Debe ser grava de la Gravera de Occidente ubicada en la carretera Santa Ana-Metapán, a la altura del botadero de basura Cutumay Camones. Dentro del volumen total de los agregados la grava representa un 43% de estos.

4.2.3 EQUIPO Y HERRAMIENTA A UTILIZAR

- 1) Cuadrilla
 - 1 Maestro de Obra.
 - 5 auxiliares.

¹⁷ ACI 211.3R-97, página N° 17.

2) Operarios de Maquinaria

- 1 conductor de camión
- 1 operario de rodillo liso vibratorio.
- 1 operario de concretetera.
- 1 operario de cortadora.

3) Equipo

- 2 carretillas
- 4 palas
- 2 pisonos de mano
- 4 cepillos/escoba
- 2 regaderas
- 2 azadones
- Tiza o marcador
- 1 sierra de corte en seco
- 1 rodillo liso vibratorio manual de 2 a 5 toneladas
- 1 concretetera.

4) Materiales

- Agregados (arena del rio las cañas extraída del municipio de apopa, y grava de la Gravera de Occidente de tamaño máximo nominal de 3/4")
- Cemento ASTM C1157 TIPO GU
- Agua (potable)
- Material de curado: emulsión asfáltica.

5) Señales y equipo de seguridad

- 2 señales de "trabajos en la carretera"
- 2 señales de "finalización de trabajos en la vía"
- 5 conos de tráfico, o cinta para cerrar el tráfico.
- 2 señales reversibles de "detención/paso

- Chalecos naranja para todo el personal

4.2.4 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial.
3. Identificar las zonas deterioradas, las cuales se deberán reparar y proceder a delimitarlas mediante marcas.
4. Tomar fotografías de los casos más relevantes y/o representativos en la situación inicial y en las posteriores actividades de avance.
5. Delimitar la Zona a Reparar.
6. Excavación y Limpieza.
7. Elaboración de la mezcla.
8. Colocación y compactación del CCR.
9. Curado y acabado final.
10. Desalojo de material existente.
11. Apertura inmediata al tráfico.

4.3 ¿COMO DEBE REALIZARSE EL BACHEO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO?

Al identificar los sitios a reparar, se procede a reparar los baches en un proceso que se desarrolla de la siguiente manera:

4.3.1 DEFINIR CUÁL SERÁ EL ÁREA DE TRABAJO Y MARCAR.

Se debe marcar sobre el pavimento las áreas a reparar, teniendo el tramo de calle señalizado respectivamente, las figuras a marcar tienen que ser cuadradas o rectangulares y con 30 cm como mínimo sobre pavimento existente en buen estado siendo sus lados perpendiculares y paralelos al eje de la vía.

4.3.2 EXCAVACIÓN Y DESALOJO DE MATERIAL EXISTENTE.

Se procederá a cortar el pavimento en figuras geométricas rectangulares o cuadradas de lados paralelos y perpendiculares al eje de la carretera según las marcas realizadas en el numeral 4.3.1. Se excavará hasta la profundidad que lo indica el espesor de diseño de la estructura existente, las paredes se cortaran de manera tal que queden verticales y uniformes y el fondo tiene que quedar lo más horizontal posible.

4.3.3 SI LA SUB RASANTE PRESENTA DAÑOS.

Es necesario observar si el material de la subrasante no presenta infiltraciones, debido a que debe ser adecuado para soportar la nueva estructura que se colocará; de lo contrario se excavará restituyendo dicho material y así conformar el fondo de manera tal que sea una superficie plana, se procederá de acuerdo a AASTHO T180 donde se deberá compactar el fondo hasta que alcance el 95 % de PVS máx. Al necesitar la restitución de material se deberá hacer con materiales selectos los cuales se tienen que seleccionar de bancos de préstamos y conforme a la tabla 4.1, según el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes SIECA.

Material o producto	Propiedad o característica	Método de prueba o especificación	Frecuencia	Punto de muestreo
Relleno estructural	Granulometría	AASHTO T 27 y AASHTO T11	1 para cada tipo de material	Fuente de material o apilamiento
	Límite líquido	AASHTO T 89	1 para cada tipo de material	Fuente de material o apilamiento
	Humedad - Densidad	AASHTO T 99 método C	1 para cada tipo de material	De previo a la incorporación en obra
	Densidad en sitio y contenido de humedad.	AASHTO T 238 y AASHTO T 239, u otro procedimiento aprobado por el Contratante	1 para cada 200 metros cúbicos, pero no menos de 3 por capa por tramo (el Contratante define qué se considera un tramo).	Material compactado

Tabla N° 4.1 Calidad de los materiales para sustitución en la sub rasante. Fuente: Manual del SIECA.

4.3.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

A partir del diseño de la mezcla realizada en laboratorio se obtiene la dosificación; dicha mezcla logrará una resistencia a la flexión de 47 kg/cm² y 249 kg/cm² a compresión ambos a 28 días según resultados obtenidos en laboratorio. Las proporciones de la mezcla de CCR para bacheo son las siguientes: proporciones en volumen para 1 bolsa de cemento utilizando cubetas de 5 Galones aproximadamente es la siguiente.

- 1 bolsa de cemento ASTM C 1157 tipo GU
- 4.05 medidas de arena (4 cubetas)
- 2.7 medidas de grava de ¾”(3 cubetas)
- La cantidad necesaria de agua (obtenida mediante el Proctor modificado AASHTO T 180) para lograr una mezcla con trabajabilidad de los concretos compactados con rodillo, aproximadamente un cuarto de cubeta.

La mezcla se podrá elaborar ya sea manualmente o en concretera (esto depende de acuerdo a la cantidad de concreto a manipular), el agua se agregará a la mezcla poco a poco, hasta que la masa húmeda de los componentes presente un color uniforme gris y consistencia adecuada como en laboratorio. Se realiza una prueba empírica para verificar que el porcentaje de humedad sea el adecuado, tomando una pequeña porción de mezcla con la mano, comprimiéndola con los dedos; si se observa que no gotea agua a través de los dedos, indica que la cantidad de agua es óptima, sino es que la cantidad es menor o excesiva. La elaboración de la mezcla se puede realizar en una concretera de media bolsa, una vez medidas las cantidades de grava, arena y cemento, de acuerdo a la dosificación de diseño, estas han sido colocadas en recipientes de igual dimensión como lo es una cubeta, número de paladas o en

un balde, etc. Se debe elaborar solo el material a colocar en el tiempo designado ya que debido a que la mezcla es de consistencia seca y que pierde humedad rápidamente podría ser desperdiciado de no ser la cantidad correcta. Continuando con el proceso de mezclado se debe verter en la mezcladora y esperar a que se revuelvan bien todos los materiales hasta lograr que la coloración de la mezcla sea uniforme. Se agregará el agua lentamente hasta que la mezcla humedecida tenga una apariencia de color uniforme gris como en el laboratorio.

Se dará paso a la compactación una vez se haya finalizado la etapa de excavación teniendo listo el fondo y laterales del área a sustituir, se debe humedecer la superficies sin saturarlas, y evitar con ello la evaporación del agua de la mezcla del concreto. La compactación deberá realizarse del centro hacia la orilla, para confinar y adherir la mezcla con el pavimento existente. La superficie debe presentar una apariencia lisa y densa, además de no bajar su nivel, indicando con ello que debe finalizarse la compactación o más bien logrando este estado se puede decir que se tiene el grado de compactación necesario el cual será aceptable con un 95 % del peso volumétrico húmedo máximo obtenido del Proctor modificado.

4.3.5 CURADO Y ACABADO FINAL.

Al terminar la compactación se barre la superficie, y se coloca una película uniforme de 1 lt/m² de emulsión asfáltica, y 3 mm de arena seca; sellando los empalmes y formando una apariencia similar a una estructura flexible.

4.3.6 CONTROL DE CALIDAD.

El control de calidad se llevara a cabo mediante las fases que se explican a continuación:

4.3.6.1 INSPECCIONES EN EL PROCESO DE CONSTRUCCION: FASES DE INSPECCION.

- **FASE PREPARATORIA**

En esta reunión de preparatoria, se analizara la actividad a desarrollar que es el bacheo por parte del gerente de control de calidad, se revisan todos los documentos pertinentes, materiales, mano de obra, equipo, en fin todos los elementos que se necesitaran para llevar a cabo el bacheo, esto se plasma con el fin de que cuando se realice el trabajo que se desarrollara, todos conozcan el problema y sepan cómo resolverlo. Para esta fase se utilizara el Formato N° 4.1

- **FASE INICIAL**

En esta fase se inicia físicamente la ejecución de la actividad que se planteaba en la fase de preparatoria. Se supervisa que los responsables de la realización del trabajo, lo estén haciendo acorde a lo establecido en la fase preparatoria y que el trabajo se esté llevando tal y como se explicó en la fase anterior (fase preparatoria).

- **FASE DE SEGUIMIENTO**

En esta actividad se verifica que todo se esté desarrollando conforme a las fases anteriores y sin ningún inconveniente en los procesos constructivos (delimitación del área a reparar, corte, demolición y excavación, fabricación del concreto, colocación y compactación y el acabado final).

INSPECCION DE LA FASE PREPARATORIA			
Nombre del contratista:		Fecha:	Numero de Acta:
Nombre del Proyecto:			
Ubicación:	Actividad:	Código:	Sección de Especificaciones
I- PERSONAL PRESENTE			
N°	Nombre	Posición	Organización
II- MATERIALES			
1- REVISION DE MATERIALES/TODOS LOS MATERIALES APROBADOS		2-¿ESTAN TODOS LOS MATERIALES A LA MANO	
si: _____	no: _____	si: _____	no: _____
A:		A:	
B:		B:	
C:		C:	
III-ALMACENAJE DE MATERIALES			
1-¿Se almacenan adecuadamente los materiales?		2-¿Si no que acciones hay que tomar?:	
si: _____	no: _____		
IV-ESPECIFICACIONES			
V-PRUEBAS DE LABORATORIO			
¿Cuáles pruebas?	¿Cuándo?	¿Dónde?	Información adicional
VI-SEGURIDAD			
VII-COMENTARIOS DE L A SUPERVISION			
FIRMAS			
F. _____ Ing. Control de Calidad.		F. _____ Ing. Superintendente.	

Formato N° 4.1 Formato de Fase Preparatoria. Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.6.2 PRUEBAS EN CAMPO Y EN LABORATORIO.

- **Determinación de la Densidad de Compactación en campo (ASTM D-2922).**

El grado de compactación en campo se determinara a través del densímetro nuclear de acuerdo a la norma ASTM D 2922, colocando el aparato de medición según sea conveniente en los lugares, en los cuales se haya colocado CCR para bacheo. Esto con el fin de medir el porcentaje de compactación en campo respecto al alcanzado en laboratorio.

- **Resistencia a Compresión (ASTM C-39).**

Se realizaron 3 cilindros de las muestras tomadas del concreto compactado con rodillo directamente de la mezcladora en base a la norma ASTM C172, estos cilindros se ensayaran a compresión a los 7 días de edad de acuerdo a la norma ASTM C39.

4.4 COLOCACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CCR EN UN TRAMO DE PRUEBA EL CUAL ESTARÁ SOMETIDO A TRÁFICO VEHICULAR (APLICACIÓN DE LA TECNICA EN CAMPO).

El diseño de mezcla de concreto compactado con rodillo determinado en laboratorio mediante conceptos de compactación de suelos, se utilizó para la reparación de la 11 avenida sur de la ciudad de Chalchuapa, reparando sobre dicha avenida un numero de 4 baches, el procedimiento de la aplicación de la técnica se representa mediante el flujograma que se detalla en el ANEXO 14.

4.4.1 APLICACIÓN DE LA TECNICA:

En seguida se detalla la realización del bacheo utilizando Concreto Compactado con Rodillo en la ciudad de Chalchuapa.

A. SELECCIONAR, DELIMITAR Y MARCAR EL ÁREA DE PAVIMENTO A REPARAR.

Se tiene que seleccionar, delimitar y marcar el área de trabajo en la cual se llevara a cabo el trabajo de bacheo, esto con el fin de tener específicamente el lugar que está dañado y en el cual se tiene que sustituir el pavimento (ver Figuras 4.1 y 4.2).



Figura N° 4.1 Selección del área de pavimento a reparar. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 4.2 Delimitación y marcado del área de pavimento. Fuente: Grupo de Tesis.

Con el área de trabajo delimitada, marcada e inspeccionada se procede a la programación para la realización de los trabajos siguientes.

B. CORTE Y EXCAVACIÓN.

Teniendo el área de trabajo definida se procede a la realización del corte y excavación del pavimento, dejando las paredes de la excavación verticales y el fondo horizontal.



Figura N° 4.3 Corte del pavimento. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 4.4 Excavación en la estructura del pavimento. Fuente: Grupo de Tesis.

Con el área a sustituir cortada y excavada, se procede a la elaboración del Concreto Compactado con Rodillo, para su colocación y compactación en el área destinada.

C. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

La dosificación de la mezcla del concreto se obtiene a partir del diseño de la mezcla.

El diseño de mezcla propuesto es para alcanzar 45 kg/cm² a flexión y 280 kg/cm² a compresión a una edad de 28 días.

Medidas en Peso	Materiales
1	Cemento TIPO GU ASTM C1157
2.6	Arena Rio las cañas Apopa
2	Grava, Graveras de Occidente (TMN $\frac{3}{4}$ ")

Tabla N° 4.2 Especificaciones de la dosificación en peso Fuente: Grupo de Tesis

Medidas en Volumen	Materiales
1	Cemento TIPO GU ASTM C1157
2.7	Arena Rio las cañas Apopa
1.8	Grava, Graveras de Occidente (TMN $\frac{3}{4}$ ")

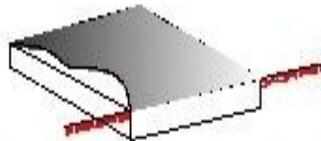
Tabla N° 4.3 Especificaciones de la dosificación en volumen. Fuente: Grupo de Tesis

La cantidad de agua que se agrega es la necesaria para alcanzar la consistencia y color uniforme encontrada en laboratorio (color gris), además de las características que tiene para que se pueda compactar externamente. El CCR se realizó en concretera de una bolsa colocando primeramente la arena, luego la grava con un poco de agua, no toda (agua total de la mezcla para una bolsa de cemento aproximadamente es $\frac{1}{4}$ de cubeta) y por último se agrega el cemento, es importante quitar el concreto que adhiere a la concretera con el fin de que todos los materiales se mezclen adecuadamente. El agua adecuada se identifica realizando una prueba, la cual consiste en tomar una muestra del concreto en la mano y presionar con fuerza, si sale agua de la mezcla indica que el contenido de humedad dentro de esta está por arriba del óptimo en este caso se tienen que agregar cemento, arena y grava en las mismas proporciones, pero si al presionar la mezcla se marcan los dedos y no gotea agua, el concreto tiene el agua óptima y está listo para colocarlo en el lugar de interés. El mezclado del CCR en la concretera, termina cuando se alcanza el color uniforme en la mezcla, que es un color gris uniforme y con las características de consistencia determinadas en laboratorio y aplicando la prueba con la mano para verificar su humedad.

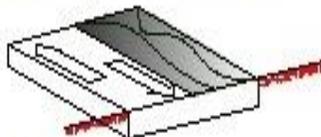
D. COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA.

Con la mezcla realizada en la concretera se procedió a la colocación y compactación de esta con el fin de alcanzar el 95% del peso volumétrico seco máximo determinado por medio del Proctor modificado AASHTO T180.

PASOS PARA COMPACTACIÓN DEL CCR CON RODILLO.



1_ Colocación del CCR dejando una altura de 5 cm sobre el nivel para su compactación.



2_ Paso del rodillo compactando una parte del bache, de la mitad hacia la orilla, hacia adelante y hacia atrás.



3_ Paso del rodillo compactando la mitad restante del bache.



4_ Se pasara el rodillo por cada mitad del bache un promedio de 4 veces o hasta que la mezcla ya no evidencie hundimiento.

Figura N° 4.5 Proceso de Compactación. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 4.6 Secuencia de la Colocación y Compactación del CCR en Campo. Fuente: Grupo de Tesis.

La colocación y compactación del concreto se puede realizar cuando la excavación este completa, así como sus paredes estén verticales y el fondo horizontal, además se tiene que humedecer el fondo y las paredes de la excavación para que el suelo no absorba el agua de la mezcla, en este paso de humedecer el fondo y las paredes donde se colocara el CCR se tiene que tener el cuidado de no dejar sobre saturado el suelo ni mucho menos dejar charcos dentro de este, ya que si se deja esa agua influirá en la resistencia de la mezcla del concreto compactado con rodillo.

La compactación se realizó pasando el rodillo liso vibratorio del centro hacia los extremos para generar que la mezcla se adhiriera a las paredes de la excavación y con el concreto asfaltico, el rodo comenzó por un extremo del bache ya que no lo alcanzaba a cubrir todo de una sola vez, en esta compactación el rodo pasaba en un lado y luego en el otro para mantener una uniformidad en la compactación del CCR dentro del bache. Los procesos de compactación se pueden dar por terminados cuando la superficie del concreto este lisa y que al pasar el rodillo liso la mezcla colocada en la excavación no baje más de nivel. La compactación se realizó con un rodo vibrocompactador de 1 ½ toneladas, con motor de 18 HP, una fuerza de impacto de 3100 lbs, con un ancho de tambor de 35.7 pulgadas, pendiente máxima superable de 25 grados y con una velocidad máxima de desplazamiento de 0 – 7.7 km/hrs. se aplicaron 6 pasadas vibrando y 4 sin vibrar, generando con ello una compactación de 95% que la que se obtiene en laboratorio. Luego se procede a determinar la compactación alcanzada con un densímetro nuclear colocando dicho aparato en dos lugares dentro del mismo bache para obtener resultados más conservadores (Ver figura 4.7) .



Figura N° 4.7 Determinación de la Compactación en Campo. Fuente: Grupo de Tesis.

E. CURADO Y ACABADO FINAL.

Cuando se haya terminado la compactación del concreto, inmediatamente se puede proceder a la colocación de la emulsión asfáltica mediante cualquier método, el método que se utilizó fue el de rociar la emulsión (CSS – 1h, AASHTO M-208) con una escoba en todo el bache reparado con CCR y luego de colocada dicha emulsión se procede a colocar arena seca con un espesor de 3mm aproximadamente, la arena se colocó de manera manual rociando la arena necesaria sobre el área en la cual ya se ha colocado la emulsión asfáltica, este proceso se realiza con el fin de sellar el empalme entre el CCR y el pavimento flexible, además de darle una apariencia igual a la del concreto asfáltico para mantener la estética del pavimento asfáltico en la calle (ver figura N° 4.8).



Figura N° 4.8 Secuencia del Curado y Acabado Final del Proceso de Bacheo. Fuente: Grupo de Tesis.

4.5 PRUEBAS EN CAMPO A LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN ESTADO FRESCO.

Las pruebas realizadas en campo al CCR fueron, la elaboración de cilindros para pruebas a compresión a 7 días de edad y la determinación del grado de compactación respecto al alcanzado en laboratorio con el uso del densímetro nuclear y basado en la norma ASTM D2922.

4.5.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN EN CAMPO (ASTM D – 2922).

Una de las características importantes que se tienen que medir en el Concreto Compactado con Rodillo colocado en campo, es la densidad de compactación que se ha alcanzado mediante la vibro compactación externamente. La densidad en campo se determinó con la utilización del densímetro nuclear de acuerdo a la norma ASTM D2922. La determinación de la densidad de compactación se realizó cuando en cada bache se había finalizado la operación de compactación. El densímetro nuclear se colocó en dos lugares dentro de cada bache reparado esto con el fin de tener datos con mayor precisión. Lo que se aprecia en la figura 4.9; se realizó para los cuatro baches reparados (VER Formato 4.2).



Figura 4.9 Colocación del densímetro nuclear para determinar la densidad de compactación alcanzada en campo. Fuente: Grupo de Tesis.

4.5.1.1 RESULTADOS DE LAS DENSIDADES DE COMPACTACIÓN EN CAMPO.



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Laboratorio de Investigaciones ISCYC

*Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa. Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo
Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164*

DENSIDAD DE SUELO EN EL LUGAR METODO NUCLEAR ASTM D-2922

PROYECTO: CCR BACHEO ZONA OCCIDENTAL UES-OCC
UBICACIÓN: LABORATORIO ISCYC
LABORATORISTAS: SAMUEL RAMIREZ
REVISO: ING. JAIME AVALOS

ENSAYO	Bache 1a	Bache 1b	Bache 2a	Bache 2b	Bache 3a	Bache 3b	Bache 4a	Bache 4b
FECHA DE ENSAYO	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011	02/08/2011
No. DE EQUIPO								
ESTACION								
LADO								
SUPERFICIE								
UBICACIÓN								
PROFUNDIDAD (m)								
PESO VOL. SECO (kg/m ³)	2004.8	2017.3	1989.5	2020.9	2010.1	2028.2	2058.2	2040.3
PESO VOL. HUMEDO (kg/m ³)	2275.4	2287.6	2172.5	2170.5	2181	2192.5	2192	2183.1
CONTENIDO DE HUMEDAD								
PESO VOL. SECO DE COMP. (kg/m ³)	2089	2089	2089	2089	2089	2089	2089	2089
%HUMEDAD	13.5	13.4	9.2	7.4	8.5	8.1	6.5	7.0

GRADO DE COMPACTACION	96.0	96.6	95.2	96.7	96.2	97.1	98.5	97.7
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

PROM DE GRADO DE COMPACTACION	96.3	96.0	96.7	98.1
-------------------------------	------	------	------	------

OBSERVACIONES : El densímetro nuclear se coloco en dos lugares dentro del bache reparado con el obojetivo de tener datos mas conservadores.

Formato N° 4.2 Resultados de las densidades de compactación en campo, mediante el densímetro nuclear ASTM D 2922. Fuente: Grupo de Tesis.

4.5.2 ELABORACION DE ESPECIMENES EN CAMPO (ASTM C-1435)

La elaboración de cilindros en campo, se realiza con el propósito de verificar la resistencia a compresión que se alcanza en el lugar en el cual se ejecuta la obra de bacheo, además de comprobar si la resistencia para la cual se diseñó la mezcla de CCR se alcanzó en campo. Las pruebas a compresión se realizaran a 7 días de edad, en esta edad es donde se obtienen los resultados para poder comprobar si se alcanzara la resistencia especificada a 28 días (VER Figura 4.10).



Figura N° 4.10 Elaboración de cilindros en campo, para pruebas de compresión. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 4.11 Especímenes Elaborados en campo (ASTM C - 1435). Fuente: Grupo de



Figura N° 4.12 Prueba de Resistencia a la Compresión de especímenes Elaborados en campo (ASTM C- 39). Fuente: Grupo de Tesis.

4.6 INSPECCIÓN DE COMPORTAMIENTO DE LOS BACHES EN CAMPO

El comportamiento de un bache a lo largo del tiempo se mide en conjunto con toda la estructura, lo que se busca con el bacheo es recuperar la funcionalidad, operación y lo transitable de la vía.

La inspección visual se realizó con el formato N° 4.4

INSPECCIÓN VISUAL

PROYECTO: APLICACIÓN DE CCR EN REPARACIÓN DE BACHES (TESIS CCR UES OCC)		FECHA	ACTA #	
		02-sep-11	1	
UBICACIÓN: CHALCHUAPA, SANTA ANA		# DE DÍAS EN OPERACIÓN: 31		
ASISTENCIA				
Numero	Nombres	Cargo	Representación	
1	OSCAR ARMANDO HERRERA G.	Supervisión	G. DE TESIS	
2	LEANDRA CAROLINA MORALES	Supervisión	G. DE TESIS	
3	RICARDO ERNESTO CERRITOS H.	Supervisión	G. DE TESIS	
4				
5				
RESULTADOS DE LA INSPECCION				
PREPARATORIA	INICIAL	SEGUIMIENTO	DEFICIENCIA	ACCIONES
		X		
OBSERVACIONES				
La estructura del pavimento en términos generales a la fecha es funcional y con transitabilidad excelente.				
La estructura del bache se muestra en excelentes condiciones				
Existe despostillamiento en dos de los baches reparados (solamente en una esquina de cada bache)				
COMENTARIOS SOBRE INSPECCION				
Existieron lluvias de alta intensidad no se muestra eyección de finos sobre el pavimento.				
La estructura del pavimento flexible y el CCR como un complemento dentro de esta, muestran una excelente funcionalidad.				
Durante el periodo siguiente el comportamiento del bache se verificara en conjunto con el pavimento asfaltico tomando todo como un solo conjunto y observando la transitabilidad, la operacionalidad y su funcionalidad.				

Formato N° 4.4 Inspección visual del bacheo con CCR. Fuente: Grupo de Tesis.



Figura N° 4.13 Inspección Visual a 30 Días del Bacheo.
Fuente: Grupo de Tesis, CCR para Bacheo.

El bacheo en la 11 Avenida sur de la ciudad de Chalchuapa a la edad de 30 días de colocación y apertura al tráfico, muestra una excelente condición, tanto en forma individual como en conjunto con el pavimento flexible. El bacheo llega a formar parte de la estructura del pavimento como un solo conjunto, evaluándolo de esta manera la transitabilidad, operacionalidad y comodidad prestadas por la calle cumplen perfectamente con su función como se ve en la figura N° 4.13.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DEL SISTEMA DE REPARACIÓN DE BACHES APLICANDO LA TECNICA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO VRS MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO.

5.1 INTRODUCCION.

La utilización de métodos para reparaciones en la red vial en nuestro país sobre los pavimentos flexibles, se realizan con las mismas mezclas asfálticas, esto lo hacen, por el hecho de que dicha técnica se tiene concebida en las empresas y alcaldías y todas aquellas empresas que dentro de sus actividades puedan desarrollar reparaciones de carreteras con pavimento flexible, y por tal razón no adoptan otro método de reparación el cual puede disminuir costos a largo plazo debido a sus propiedades mecánicas y una de estas técnicas es la aplicación del Concreto Compactado con Rodillo en el mantenimiento de carreteras específicamente en la reparación de baches.

En nuestra investigación se determinó el diseño de mezcla de CCR para operaciones de bacheo sobre pavimentos asfálticos, el cual fue puesto a prueba sobre un tramo en la ciudad de Chalchuapa, con la puesta a prueba de dicho método en campo se puede determinar el costo unitario directo del concreto compactado y de esta manera poder comparar costos, durabilidad y la facilidad de aplicación.

5.2 DETERMINACION DE COSTOS UNITARIOS DIRECTOS.

En la determinación de costos directos y para la comparación de la aplicación de ambas mezclas, se tuvieron que investigar los precios de la mano de obra, tales costos son los que se manejan en el campo para desarrollar las reparaciones de baches. Además se investigó el precio de alquiler de la maquinaria que se usa para dichas reparaciones, así también los precios de los materiales con los se estableció el diseño de la mezcla de Concreto Compactado con Rodillo, los cuales son de fácil adquisición en el mercado de venta de materiales para la construcción. Los costos incluyen transporte y prestaciones de la ley (para la mano de obra) se especifica el factor de prestación para la mano de obra ver anexo 11. Esta investigación se realizó en el lugar de puesta a prueba del diseño de mezcla de CCR y está determinado

en costo por metro cuadrado (CU/m²). “Es importante mencionar que el costo de la aplicación de cierta técnica para reparaciones de baches tiene que ir de la mano con la durabilidad de esta, ya que si se considera esto los costos a largo plazo de mantenimiento en buen estado de las carreteras se disminuirán considerablemente”¹⁸.

5.3 DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO PARA BACHEO PROFUNDO, CON UN ESPESOR DE 18 CM.

5.3.1 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.



Figura N° 5.1 Estructuras de ambas técnicas de reparación de Pavimentos. Fuente: Grupo de Tesis.

¹⁸ Tesis: Análisis Comparativo de Costos en la Rehabilitación de Pavimentos para Carreteras, Ing. Maltez Romillo Juan Carlos, Guatemala Junio 2006.

5.3.2 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS PARA EL BACHEO PROFUNDO CON MEZCLA ASFALTICA EN FRIO.

1. ACTIVIDAD: CORTE Y DEMOLICION.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS SIN IVA					
ACTIVIDAD:	CORTE Y DEMOLICION Profundidad de 18cm			ANALISIS:	1
				UNIDAD:	M3
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
SUB - TOTAL:				\$0.00	
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	SALARIO/DIA	FP	SUB TOTAL
1 AUX P/CORTADORA	0.17	DIA	\$6.00	1.90	\$1.94
1AUXILIAR DEMOLICION	0.67	DIA	\$6.00	1.90	\$7.60
SUB - TOTAL:				\$9.54	
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/DIA	SUB TOTAL	
HERRAMIENTA 3%				\$0.29	
CORTADORA	0.17	DIA	\$25.00	\$4.25	
SUB - TOTAL:				\$4.54	

COSTO DIRECTO/m³	\$14.08
COSTO DIRECTO/m²	\$2.53

Formato N° 5.1 Determinación del costo unitario de la partida corte y demolición. Fuente: Grupo de Tesis.

2. ACTIVIDAD: BASE DE SUELO CEMENTO.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD:	BASE DE SC 1:20 espesor de 15 cm.		ANALISIS:	1	
			UNIDAD:	M3	
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
CEMENTO PORTLAND	BLS	0.56	\$6.73	\$	3.79
MATERIAL SELECTO	M3	0.31	\$18.00	\$	5.63
AGUA	BARRIL	0.06	\$1.00	\$	0.06
SUB - TOTAL:					\$9.48
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	SALARIO/DIA	FP	SUB TOTAL
AUXILIARES 2	0.6	DIA	\$6.00	1.90	\$13.68
SUB - TOTAL:					\$13.68
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/DIA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS 3%					\$0.28
VIBROCOMPACTADOR		HORA	0.14	\$25.00	\$3.57
SUB - TOTAL:					\$3.85

COSTO DIRECTO/m³	\$27.01
COSTO DIRECTO/m²	\$4.05

Formato N° 5.2 Determinación del costo unitario de la partida base de suelo cemento 1:20.
Fuente: Grupo de Tesis.

3. ACTIVIDAD: RIEGO DE LIGA SOBRE BASE DE SUELO CEMENTO.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ACTIVIDAD:	RIEGO DE LIGA			ANALISIS:	1	
				UNIDAD:	M2	
A- MATERIALES						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
EMULSION ASFALTICA tipo RC-70		GLN	0.25	\$2.50	\$ 0.63	
SUB - TOTAL:					\$0.63	
B-MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		CANTIDAD	UNIDAD	P/LAUDO	FP	SUB TOTAL
AUXILIAR		0.01	DIA	\$6.00	1.90	\$0.23
SUB - TOTAL:					\$0.23	
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
DESCRIPCION		TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/HORA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS 3% MATERIALES						\$0.03
SUB - TOTAL:					\$0.03	
COSTO DIRECTO/m²					\$0.89	

Formato N°5.3 Determinación del costo unitario de la partida Riego de liga sobre suelo cemento. Fuente: Grupo de Tesis.

4. ACTIVIDAD: MEZCLA ASFALTICA EN FRIO COLOCADA Y COMPACTADA.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD:	MEZCLA AZFALTICA EN CALIENTE PARA BACHEO			ANALISIS:	1
				UNIDAD:	M3
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	M3	1.00	\$170.00	\$ 170.00	
EMULSION ASFALTICA CSS – 1h, AASHTO M-208.	GL	5.00	\$3.00	\$ 15.00	
SUB - TOTAL:				\$185.00	
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	SALARIO/DIA	FP	SUB TOTAL
AUXILIARES 3	0.5	DIA	\$6.00	1.90	\$17.10
SUB - TOTAL:				\$17.10	
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/HORA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS 3%					\$0.51
RODO LISO 3 TONELADAS		0.17	DIA	\$16.00	\$2.67
SOPLADORA		0.17		\$3.00	\$0.50
SUB - TOTAL:				\$3.68	

COSTO DIRECTO/m³	\$205.78
COSTO DIRECTO/m²	\$6.17

Formato N°5.4 Determinación del costo unitario de la partida mezcla asfáltica en caliente.
Fuente: Grupo de Tesis.

5. ACTIVIDAD: SELLANTE EN BACHE CON MEZCLA ASFALTICA.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD:	SELLANTE			ANALISIS:	1
				UNIDAD:	M2
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
ARENA RIO LAS CAÑAS	M3	0.03	\$16.00	\$	0.48
EMULSION ASFALTICA CSS - 1h, AASHTO M-208	GLN	0.25	\$2.5	\$	0.63
SUB - TOTAL:					\$1.11
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	SALARIO/DIA	FP	SUB TOTAL
AUXILIAR	0.01	DIA	\$6.00	1.90	\$0.11
SUB - TOTAL:					\$0.11
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/HORA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS MATERIALES 3%					\$0.05
SUB - TOTAL:					\$0.05

COSTO DIRECTO/m²	\$1.27
------------------------------------	---------------

Formato N°5.5 Determinación del costo unitario de la partida sellante. Fuente: Grupo de Tesis.

5.4 DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO DE LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO PROFUNDO CON UN ESPESOR DE 18 CM.

5.4.1 DESGLOSE DE COSTOS UNITARIOS PARA EL BACHEO PROFUNDO CON CCR.

1. ACTIVIDAD: CORTE Y DEMOLICION.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS SIN IVA					
ACTIVIDAD:	CORTE Y DEMOLICION Profundidad de 18cm			ANALISIS:	1
				UNIDAD:	M3
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
SUB - TOTAL:				\$0.00	
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	SALARIO/DIA	FP	SUB TOTAL
1 AUX P/CORTADORA	0.17	DIA	\$6.00	1.90	\$1.94
1 AUXILIAR DEMOLICION	0.67	DIA	\$6.00	1.90	\$7.60
SUB - TOTAL:				\$9.54	
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/DIA	SUB TOTAL	
HERRAMIENTA 3%				\$0.29	
CORTADORA	0.17	DIA	\$25.00	\$4.25	
SUB - TOTAL:				\$4.54	

COSTO DIRECTO/m³	\$14.08
COSTO DIRECTO/m²	\$2.53

Formato N°5.6 Determinación del costo unitario de la partida corte y demolición. Fuente: Grupo de Tesis.

2. ACTIVIDAD: ELABORACION, COLOCACION Y COMPACTACION DEL CONCRETO CCR.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD:	CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO 18CM			ANALISIS:	1
				UNIDAD:	M3
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
CEMENTO GU ASTM 1157	BOLSA	7.00	\$6.73	\$ 47.11	
GRAVAS DE OCCIDENTE 3/4"	M3	0.44	\$28.00	\$ 12.32	
ARENA RIO LAS CAÑAS	M3	0.66	\$16.00	\$ 10.56	
AGUA	GLN	34.20	\$0.01	\$ 0.34	
SUB - TOTAL:				\$70.33	
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P/LAUDO	FP	SUB TOTAL
AUXILIARES (3)	0.14	DIA	\$6.00	1.90	\$4.79
ALBAÑIL	0.14	DIA	\$8.00	1.80	\$2.02
			SUB - TOTAL:		\$6.81
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/DIA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS 3%				\$0.02	\$0.14
CONCRETERA de 1 bolsa		DIA	0.14	\$30.00	\$4.20
RODO COMPACTADOR 1 ½ Ton.		DIA	0.05	\$45.00	\$2.25
SUB - TOTAL:				\$6.59	

COSTO DIRECTO/m³	\$83.73
COSTO DIRECTO/m²	\$15.07

Formato N°5.7 Determinación del costo unitario de la partida concreto compactado con rodillo.
Fuente: Grupo de Tesis.

3. ACTIVIDAD: SELLANTE EN BACHE CON CCR.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ACTIVIDAD:	ACABADO SUPERFICIAL EN BACHE		ANALISIS:	1	
			UNIDAD:	M2	
A- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	
ARENA RIO LAS CAÑAS	M3	0.02	\$16.00	\$ 0.32	
EMULSION ASFALTICA CSS - 1h, AASHTO M-208.	GLN	0.25	\$0.72	\$ 0.18	
SUB - TOTAL:				\$0.50	
B-MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P/LAUDO	FP	SUB TOTAL
AUXILIAR	0.01	DIA	\$6.00	1.90	\$0.11
SUB - TOTAL:				\$0.11	
C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCION	TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/HORA	SUB TOTAL
HERAMIENTAS 3% MATERIALES					\$0.02
SUB - TOTAL:				\$0.02	

COSTO DIRECTO/m²	\$0.63
------------------------------------	---------------

Formato N°5.8 Determinación del costo unitario de la partida acabado superficial en bache.
Fuente: Grupo de Tesis.

5.5 COSTO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO PARA BACHEO PROFUNDO.

COSTO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO PARA OPERACIONES DE BACHEO PROFUNDO. 18 CM DE ESPESOR			
N°	PARTIDA	UNIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO
1	Corte y Demolición (Profundidad de 18cm)	M ²	\$ 2.53
2	Base de SC 1:20 espesor de 15 cm.	M ²	\$ 4.05
3	Riego de Liga sobre suelo cemento	M ²	\$ 0.89
4	Mezcla Asfáltica en Frio (ver anexo 12)	M ²	\$ 6.17
5	Sellante en Bache con mezcla asfáltica	M ²	\$ 1.84
COSTO DIRECTO/M²			\$ 15.48

Tabla N° 5.1 Calculo del Costo unitario de la mezcla asfáltica para bacheo profundo. Fuente: Grupo de Tesis.

5.6 COSTO UNITARIO DE CCR PARA BACHEO PROFUNDO.

COSTO UNITARIO DE MEZCLA DE CCR PARA OPERACIONES DE BACHEO PROFUNDO. 18 CM DE ESPESOR			
N°	PARTIDA	UNIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO
1	Corte y Demolición Profundidad de 18cm	M ²	\$ 2.53
2	Concreto Compactado con Rodillo 18 CM	M ²	\$ 15.07
3	Sellante en bache con CCR	M ²	\$ 0.63
COSTO DIRECTO/M²			\$ 18.23

Tabla N° 5.2 Calculo del Costo unitario de la mezcla de CCR para bacheo profundo. Fuente: Grupo de Tesis.

5.7 COMPARACION DE COSTOS UNITARIOS ENTRE LA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO Y EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO PROFUNDO.

Con el propósito de verificar cual técnica es más económica, se determinaron anteriormente en el numeral 5.5 y 5.6 los costos unitarios de la mezcla asfáltica (ver Tabla N° 5.1) y del concreto (ver Tabla N° 5.2), respectivamente. Con los costos unitarios determinados de las distintas técnicas de reparaciones de baches se puede realizar la comparación entre estos, para definir en cuanto a costos cual técnica resulta más factible.

MEZCLA	COSTO UNITARIO
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO 18 CM DE ESPESOR	\$ 18.23
MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO 18 CM DE ESPESOR	\$ 15.48
DIFERENCIA	\$ 2.75

Tabla N° 5.3 Comparación de Costos Directos entre Mezcla Asfáltica y CCR. Fuente: Grupo de Tesis.

La tabla 5.3 nos muestra resumidos los costos unitarios directos sin IVA de las mezclas que se están comparando, dicho resultado nos da una diferencia de dos dólares con setenta y cinco centavos de dólar de los Estados Unidos de América (\$ 2.75), por tal razón se dice que la mezcla asfáltica es más económica respecto al concreto compactado con rodillo; este resultado nos indica que la mezcla para operaciones de bacheo a seleccionar y basándose en los precios que se indican anterior mente es la mezcla asfáltica, sin embargo es importante tener en cuenta la facilidad de aplicación del CCR en campo, así como también su durabilidad y otra ventaja importante es que se puede abrir inmediatamente al tráfico.

**CAPITULO VI: ANÁLISIS Y
DISCUSIÓN DE LOS
RESULTADOS OBTENIDOS.**

6.1 INTRODUCCION.

En el desarrollo de la investigación se realizaron pruebas a los agregados y al concreto en estado endurecido, entre los ensayos realizados a los agregados están gravedad específica y absorción, granulometría y pesos unitarios a los agregados finos y gruesos, así también la resistencia al desgaste del agregado grueso. Además se determinó el contenido de cemento óptimo para una resistencia deseada, obteniéndolo mediante un ensayo de consolidación de suelos (Proctor modificado AASHTO T-180), con dicho método se determinaron las densidades máximas secas con sus contenidos óptimos de humedad, con los cuales se diseñaron mezclas de CCR y se probaron a compresión y a flexión.

Con los resúmenes de los resultados que se obtuvieron tanto de los agregados finos y gruesos como también de los ensayos al concreto endurecido, se pueden realizar comparaciones y comentar si dichos resultados son aceptables o no, las discusiones de los resultados de la investigación se plantean a continuación.

6.2 GENERALIDADES.

Los resultados que se obtienen en campo y en laboratorio pueden variar considerablemente muchas veces, por el simple motivo de que cuando se está elaborando un concreto en laboratorio se tiene mucho más control que cuando se está elaborando en campo. Los resultados de las pruebas al concreto endurecido (en nuestro caso solamente pruebas a compresión) de los especímenes realizados en campo, nos pueden brindar información sobre si se mantuvo o no el proporcionamiento, así también se agregó el agua indicada que se determinó mediante el ensayo Proctor Modificado AASHTO T-180. Todos estos factores pueden afectar en la resistencia de las probetas hechas en campo al momento de realizar en ellas el ensayo a compresión, dichos

resultados de los ensayos pueden dar por arriba de la resistencia esperada o por debajo. Por lo cual es conveniente que cuando se realice concreto de este tipo en campo se explique de manera muy clara el procedimiento para realizarlo y colocarlo en el lugar de interés, para evitar malos proporcionamientos y que la resistencia no sea la adecuada. Además se tratan aspectos que están relacionados con un análisis comparativo de los resultados de las densidades en campo y en laboratorio, además de las pruebas a compresión, así como un análisis de la calidad de los agregados utilizados.

6.3 AGREGADOS.

6.3.1 AGREGADO FINO.

El análisis granulométrico de la arena generó una curva que satisface los requerimientos establecidos por la norma ASTM C-33 (ver figura N° 6.1), el resultado del módulo de finura que se obtuvo fue de 2.59 lo que la clasifica como una arena de finura media. Este agregado se apega a los objetivos de nuestra investigación, que se basa en la utilización de CCR en la zona occidental de nuestro país. Seleccionando dicho material con el fin de que la técnica que plantea esta investigación sea práctica, eficiente y de fácil acceso para todas aquellas empresas que quieran aplicarla, por tal razón se opta en adquirir este material, ya que es esta arena la que se comercializa en su mayoría en toda la zona occidental de nuestro país.

Es importante mencionar que dicha arena por ser natural (arena de río) tiene incorporadas bastantes rocas de tamaño considerable y por este motivo se tuvo que tamizar, realizando dicho tamizado con un propósito, el de eliminar todo aquel material que quedaba retenido en la malla N° 4, por lo cual solamente se utilizó en la investigación tanto en laboratorio como en campo todo el material pasante por dicha malla.

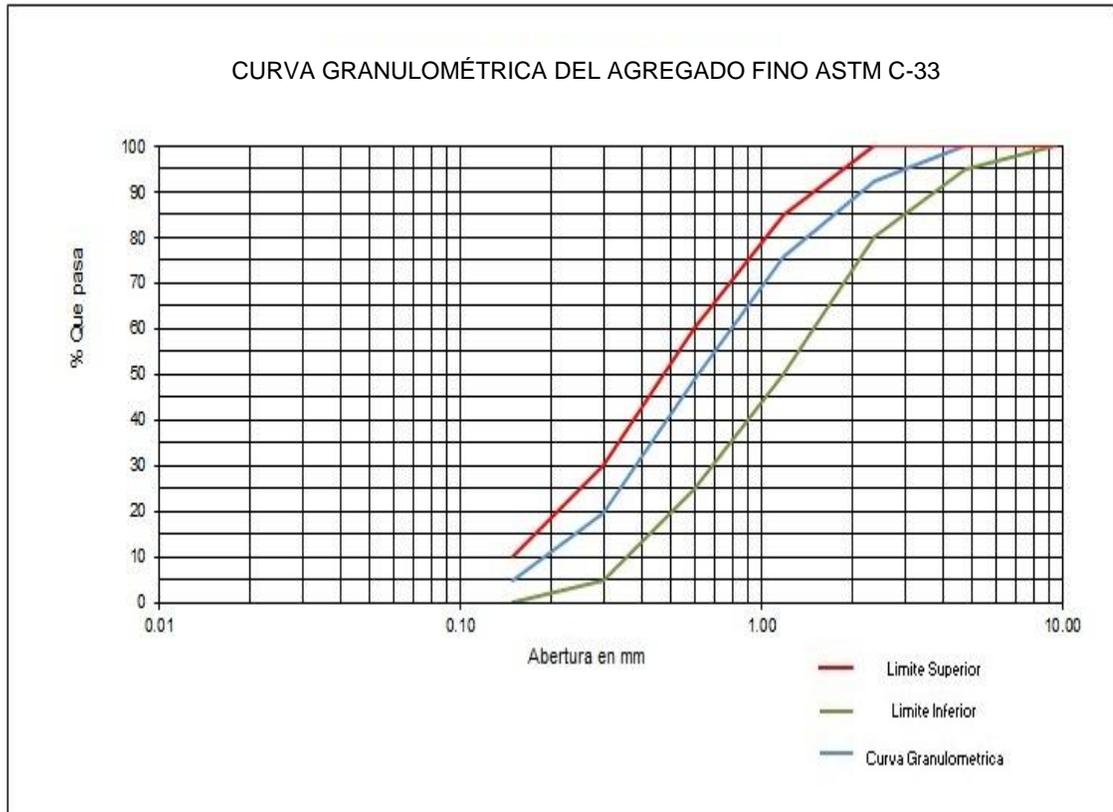


Figura N° 6.1 Curva Granulométrica del Agregado Fino ASTM C-33. Fuente: Grupo de Tesis.

En la Tabla 6.1 se muestran cada uno de los valores obtenidos en las pruebas realizadas a la arena, “en el caso de la absorción, las especificaciones de los agregados no acostumbran fijar límites de aceptación, debido a que esto depende de muchos factores como son la porosidad, la distribución granulométrica, el contenido de finos, el tamaño máximo, la forma y la textura superficial de las partículas (generalmente para los agregados gruesos), etc. No obstante como información se tiene que los agregados son de buena calidad si la absorción no excede del 3% en el agregado grueso y del 5% en el agregado fino”¹⁹.

¹⁹ “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 1, Ed. Limusa, Pre edición 1994, México, pag.128.

ENSAYO A LA ARENA	RESULTADO
Módulo de finura ASTM C-136	2.59
Absorción (%) ASTM C-128	3.37
Gravedad Especifica ASTM C-128	2.42
Peso Volumétrico Suelto (kg/m ³) ASTM C-29	1337.4
Peso Volumétrico Varillado (kg/m ³)ASTM C-29	2050.4

Tabla N° 6.1 Resumen de Resultados de los Ensayos a la Arena. Fuente: Grupo de Tesis.

Observando el dato de la absorción de la arena que es de 3.37 podemos decir que es aceptable el dicho material ya que se encuentra dentro del rango establecido no superando el 5%. El resultado de la Gravedad Específica es de 2.42 por lo cual es aceptable, debido a que según la PCA (Portland Cement Association), la mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9, aclarando antes que esos valores no son indicativos de la calidad del agregado²⁰.

6.3.2 AGREGADO GRUESO.

La grava que se utilizó fue tamizada determinando su tamaño máximo de 25 mm 1” y su tamaño máximo nominal de 19 mm ¾” siendo este agregado el que de interés por su ubicación en la zona de la investigación. El análisis granulométrico de la grava genero una curva que no satisface los requerimientos establecidos por la norma ASTM C-33 (ver figura N° 6.2).

²⁰ “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, AC. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, (traducción directa del libro “Desing and Control of Concrete Mixtures”, Pórtland Cement Association, PCA), 1992, pp38-39

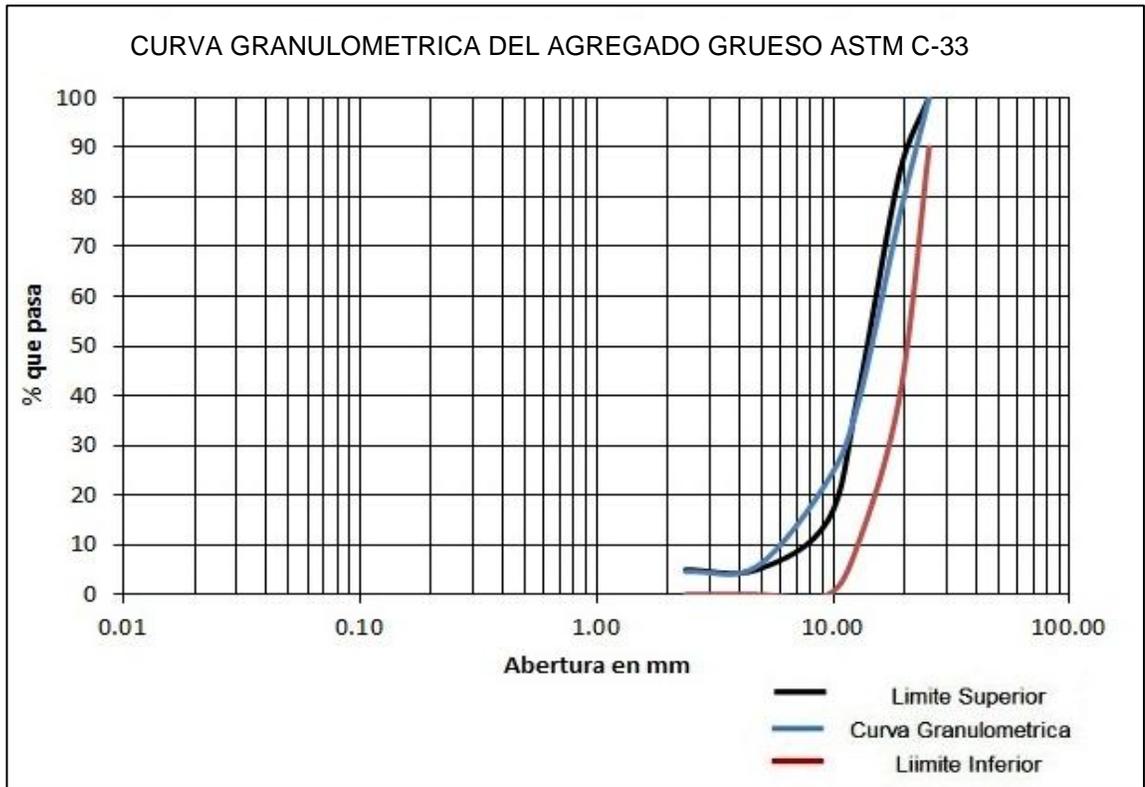


Figura N° 6.2 Curva Granulométrica del Agregado Grueso ASTM C-33. Fuente: Grupo de Tesis.

En la Tabla 6.2 se muestran cada uno de los valores obtenidos en las pruebas realizadas a la grava, como lo son la absorción, gravedad específica, porcentaje de desgaste y los pesos unitarios.

ENSAYO A LA GRAVA	RESULTADO
Absorción (%) ASTM C-127	2.13
Gravedad Especifica ASTM C-127	2.72
Peso Volumétrico Suelto (kg/m ³) ASTM C-29	1535.3
Peso Volumétrico Varillado (kg/m ³)ASTM C-29	2189.2
(%) de Desgaste ASTM C-131	16.01

Tabla N° 6.2 Resumen de los Resultados de los Ensayos a la Grava. Fuente: Grupo de Tesis.

Con el resumen de resultados de los ensayos al agregado grueso se puede decir que mediante el resultado la absorción que dio un valor de 2.13 está dentro del rango permitido de la referencia que dice el valor límite máximo es de 3%, la gravedad específica con un valor de 2.72 está dentro de los límites que da la PCA, por lo cual se dice que el agregado grueso es aceptable.

6.4 COMBINACIÓN GRANULOMETRICA ÓPTIMA DE LA GRAVA Y DE LA ARENA (METODO GRAFICO).

La combinación de los agregados finos y grueso, para obtener una curva granulométrica que cumpla con los límites establecidos por el comité ACI 211.3, da como resultado un 43% de grava y un 57% de arena. En la figura N° 6.3 se muestra el “método con el cual se determinó la combinación óptima de los agregados”²¹ y en la figura N° 6.4 se muestra la curva granulométrica de la combinación de los agregados entre los límites establecidos por el comité ACI 211.3.

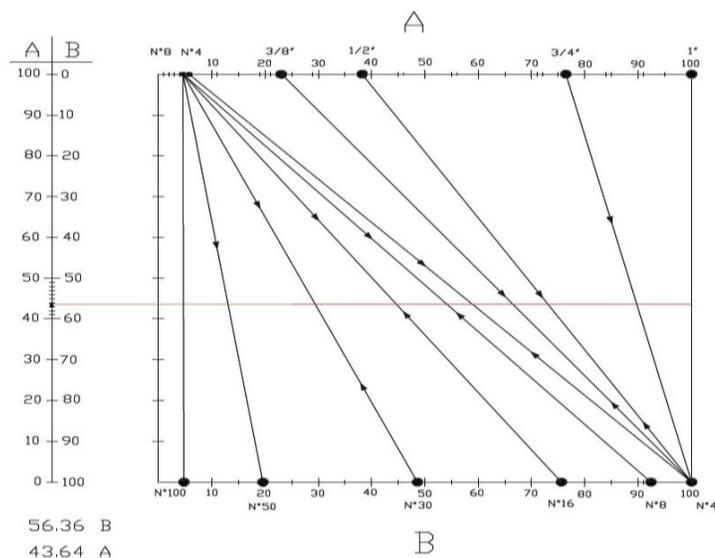


Figura N° 6.3 Grafica para el proporcionamientos de los agregados, “A” grava y “B” arena.
Fuente: Grupo de Tesis.

²¹<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:txlyMXV7i5AJ:cuevadelcivil.blogspot.com/2011/04/combinaciondeagregados.html+metodo+de+proporcionamiento+grafico+para+combinar+agregados&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=sv>



Figura N° 6.4 Curva Granulométrica Combinada con el 43% grava y el 57% arena. Fuente: Grupo de Tesis.

Con el proporcionamiento de la arena y de la grava finalizado y determinado que al combinar un 43% de grava con un 57% de arena, se genera una curva granulométrica (de los agregados combinados) la cual cumple con las especificaciones de los límites granulométrico del ACI 211.3, aunque en los límites que se presentan para la malla N° 100 y 200 la curva se sale de la franja de control (Ver Figura N° 6.4), lo que se puede decir de esto es que al momento de la realización del CCR se necesitara un poco más de fino, es importante mencionar que esta combinación de agregados es la única ya que solo se está realizando el estudio para el diseño del Concreto Compactado con Rodillo con

materiales comercializados en la zona, por tal razón no se buscó otro material para que todos los puntos estén dentro de la franja de control. Determinado el proporcionamiento para la combinación de la grava y de la arena se puede comenzar la realización de los ensayos Proctor modificado AASHTO T 180 para determinar las relaciones de densidad humedad.

6.5 RELACION HUMEDAD-DENSIDAD (PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180).

El diseño de mezcla de CCR de esta investigación se basa en tratar al concreto como un suelo lo cual permite determinar un contenido de humedad óptimo y un peso volumétrico seco máximo (Proctor Modificado AASHTO T-180), en el cual se determinó la cantidad de cemento en porcentaje respecto al peso seco de los agregados, esto permitirá la compactación externamente del concreto generando así un porcentaje de compactación en campo el cual tiene que ser no menor al 95% respecto al peso seco encontrado con en el Proctor método D. En la tabla N° 6.3 se muestran los resultados obtenidos mediante el ensayo de compactación de suelos.

Porcentajes de Cemento (%)	8	12	18
Peso Volumétrico Seco (kg/m³)	2028	2138	2089
Porcentaje de Humedad Óptima (%)	9	7.7	9.1
Relación A/C	1.12	0.64	0.51

Tabla N° 6.3 Pesos Volumétricos Secos Máximos, Porcentajes de Humedades Optimas y Relaciones A/C, para Distintos Porcentajes de Cemento. Fuente: Grupo de Tesis.

Como se puede observar en la tabla N° 6.3 los porcentajes de humedad varían con el aumento del cemento, por lo cual no se mantuvo en disminución ni en

aumento el contenido óptimo de humedad. En la Figura N° 6.5 se muestra como se comportó el peso volumétrico seco máximo con cada contenido de cemento, en la figura N° 6.6 se muestra como se comportó la relación agua cemento al aumentar cada porcentaje de este en cada Proctor modificado (AASHTO T-180).

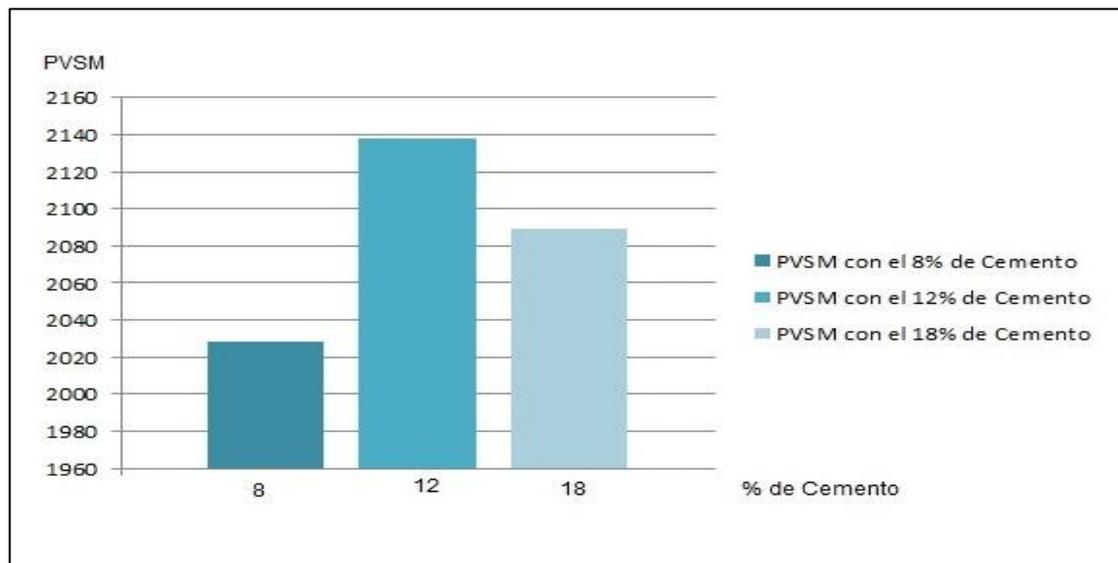


Figura N° 6.5 Porcentaje de Cemento contra PVSM. Fuente: Grupo de Tesis.

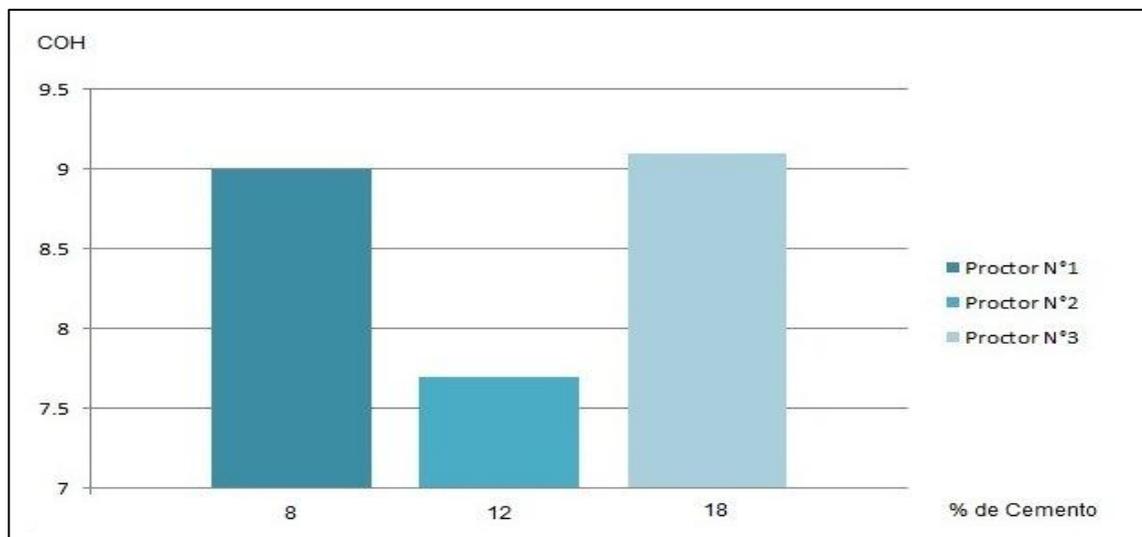


Figura N° 6.6 Porcentaje de Cemento Contra Contenido Optimo de Humedad (COH). Fuente: Grupo de Tesis.

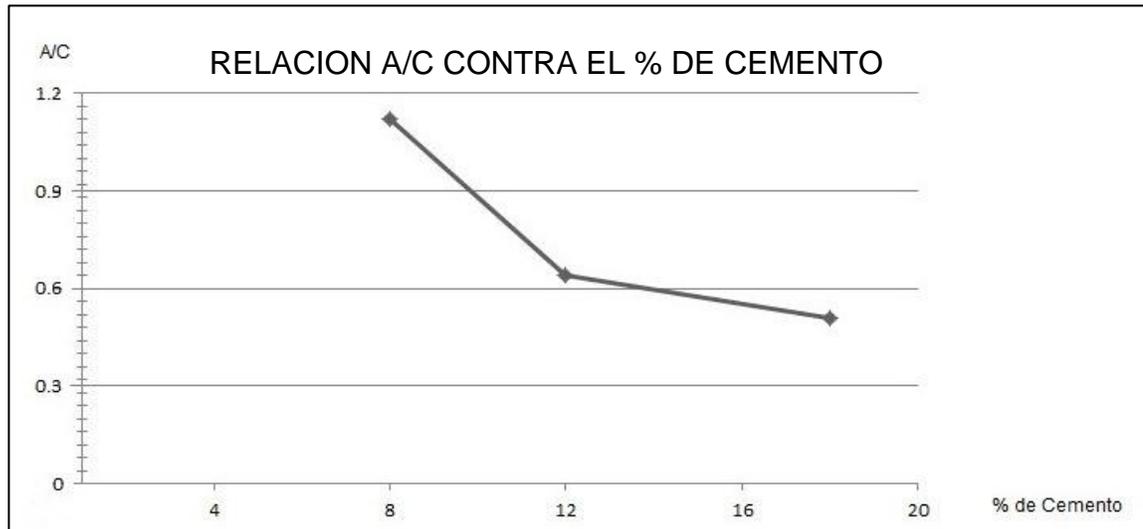


Figura N° 6.7 Variación de la Relación Agua Cemento Contra % de Cemento. **Fuente:** Grupo de Tesis.

6.6 DETERMINACION Y COMPARACIÓN ENTRE LAS DENSIDADES ALCANZADAS EN CAMPO Y LABORATORIO.

La tabla N° 6.4 muestra las densidades alcanzadas en laboratorio y en campo y su comparación se realiza mediante el grafico que se muestra en la figura N° 6.8, el método de compactación o el proceso mediante el cual se realizó la compactación de especímenes en campo y en laboratorio, fue la misma metodología basada en la norma ASTM C-1435, sin embargo el grado de compactación en campo de los cilindros no se pudo determinar debido a que no se contaba con el equipo para calcular el peso de los especímenes, por lo cual la comparación entre los porcentajes (%) de las densidades alcanzadas, se realizara con los especímenes compactados en laboratorio vrs las densidades alcanzadas de los baches compactados. La determinación del valor en porcentaje (%) de compactación alcanzado en campo de los baches reparados, se realizó utilizando el densímetro nuclear (ASTM D-2922), los resultados de estas pruebas se muestran el formato N° 4.1 y mostrados en promedio(la toma

de densidades con el densímetro nuclear se realizó en dos lugares diferentes dentro del mismo bache reparado, por tal razón se muestran promediados los resultados en la tabla N° 6.4, la compactación de los baches se realizó mediante un rodo vibrocompactador.

La compactación con dicho rodo se finalizó hasta cuando el nivel del CCR colocado ya no bajaba lo cual se logró con un número de 15 pasadas.

PROCTOR MODIFICADO AASHTO T 180	PVHMAX (Kg/m³)	2279	2279	2279	2279
	PVSMAX (Kg/m³)	2089	2089	2089	2089
GRADO DE COMPACTACION EN CAMPO MEDIANTE DENSIMETRO NUCLEAR	PVH (Kg/m³)	2282	2005	2187	2049
	PVS (Kg/m³)	2011	2005	2019	2049
	COMPACTACION (%)	96.3	96.0	96.7	98.1
GRADO DE COMPACTACION EN LABORATORIO MEDIANTE MARTILLO VIBRATORIO (HILTI)	PVH (Kg/m³)	2352.5	2352.5	2282	2207.8
	PVS (Kg/m³)	2156	2156	2092	2024
	COMPACTACION (%)	103.2	103.2	100.1	96.9

Tabla N° 6.4 Densidades de compactación en campo y en laboratorio. Fuente: Grupo de Tesis.

Los grados de compactación tanto en campo con respecto a los alcanzados en laboratorio varían porque:

1. Los grados de compactación en laboratorio que se muestran son porcentajes (%) de compactación en especímenes cilíndricos para pruebas de compresión usando un martillo vibrocompactador (Hilti), lo mencionado anteriormente es en relación a los grados de compactación alcanzados en los cilindros compactados en el laboratorio.

2. Los porcentajes (%) de compactación mostrados en tabla N° 6.4 referente a la compactación en campo, son densidades alcanzadas en los baches, dicho porcentaje es logrado mediante el uso de un rodo vibrocompactador liso, su comparación se observa en la gráfica mostrada en la figura N° 6.9.
3. Es muy importante notar que la compactación en cilindros se realiza con un martillo Hilti y dentro de un cilindro con diámetro de 150 mm y 300mm de altura, por lo cual el área de compactación es cubierta casi en su totalidad por la placa circular que se le coloca al martillo, y para la compactación en campo de los baches es todo lo contrario, usando el rodo vibrocompactador se compacta mediante pasadas y no se cubre en la totalidad el área de interés.

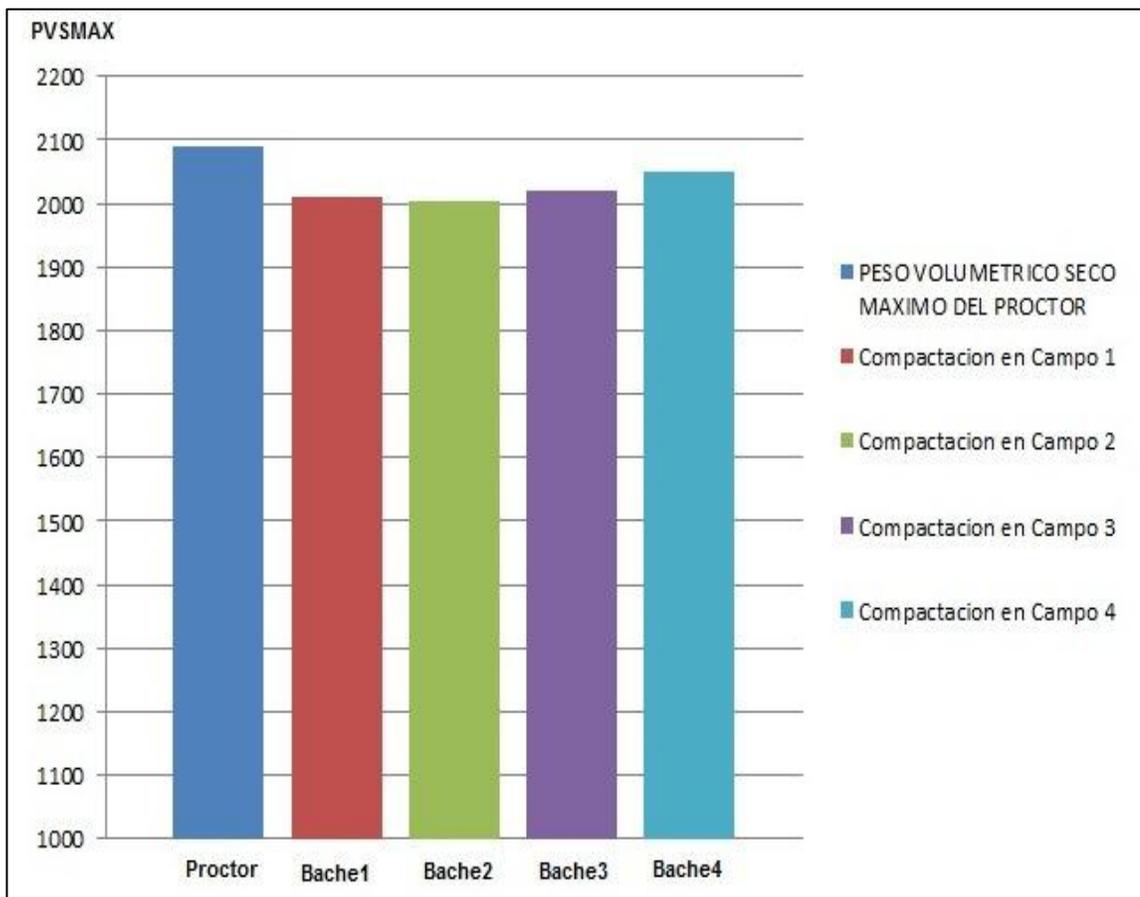


Figura N° 6.8 Comparación entre Densidades de Compactación. Fuente: Grupo de Tesis.

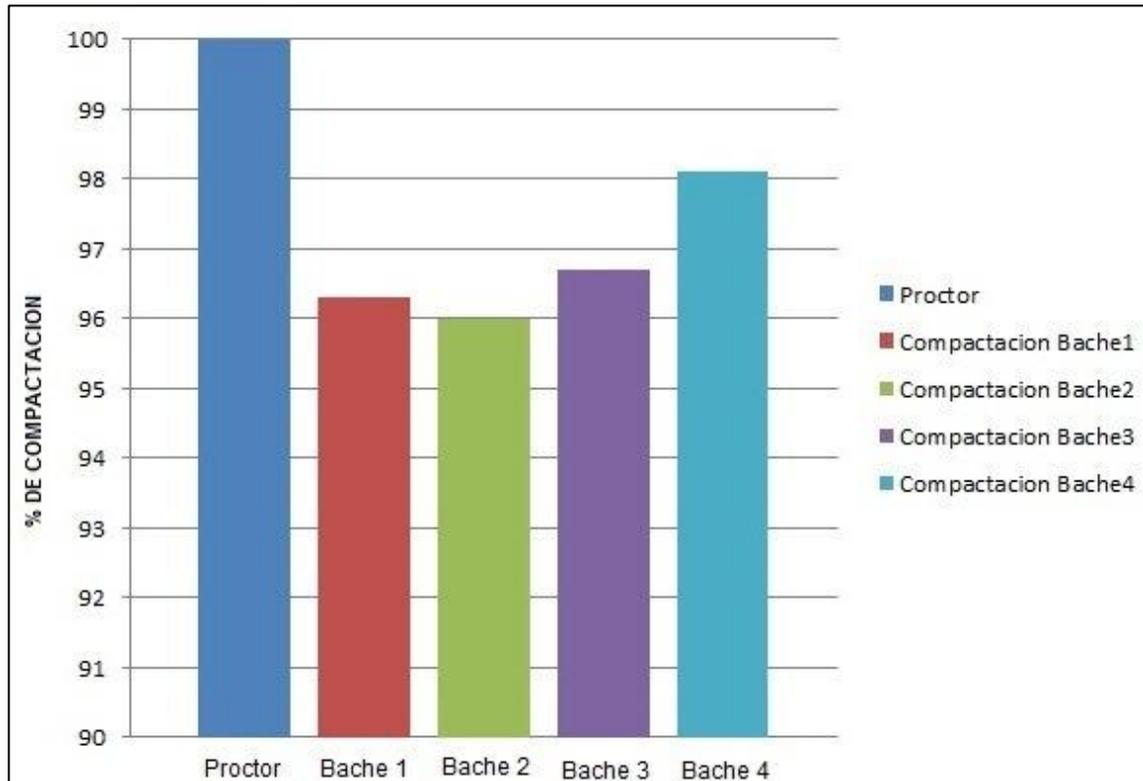


Figura N° 6.9 Comparación de los Porcentajes de Compactación en Campo Contra el Proctor Modificado. Fuente: Grupo de Tesis.

6.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA EN LABORATORIO Y EN CAMPO Y LA COMPARACION ENTRE ESTAS.

Los resultados a compresión de los especímenes fabricados en campo, pueden variar en su resistencia.

Si la resistencia a compresión de los cilindros elaborados en campo es baja en relación a los resultados obtenidos de las pruebas a los especímenes hechos en laboratorio, podría ser por un aumento en la cantidad de agua o agregados que estaría por encima del COH en el caso del agua, o por equivocación al momento de verter los agregados en la concretera según el proporcionamiento, de igual manera si se obtienen resultados por arriba de los determinados en laboratorio se podría decir que las proporciones de agregados se disminuyeron al momento de verterlos en la concretera, lo cual genera un aumento en el

cemento de la mezcla y por lo cual se obtendrán resultados arriba de los encontrados en laboratorio.

Para la elaboración de los cilindros que se moldearon en campo y en laboratorio, se siguió el mismo procedimiento, tal procedimiento se describe en el numeral 3.8.3 del capítulo III del presente trabajo. Dichos cilindros están fabricados con el diseño de mezcla seleccionado, las resistencias a compresión que se determinan mediante las pruebas al concreto endurecido de los cilindros fabricados en campo y en laboratorio pueden variar por muchos motivos entre los cuales esta: el desconocimiento de nuevas técnicas, la falta de atención en la ejecución del trabajo y el descuido, etc.

Descripción	Especímenes en Laboratorio	Especímenes en Campo con CCR, Chalchuapa
N° Especímenes	3	3
Edad (días)	7	7
Resistencia a la compresión (Promedio) ASTM C-39.	193 kg/cm ²	351 kg/cm ²

Tabla N° 6.5 Comparación de resistencias a compresión entre cilindros fabricados en campo y los que se fabricaron en laboratorio. Fuente: Grupo de Tesis.

La tabla N° 6.5 nos muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión (ASTM C 39), a la edad de 7 días para ambos casos, al observar dicha tabla se puede apreciar que los resultados a compresión de los cilindros fabricados en campo, muestran un dato por arriba del que se obtuvo en laboratorio, este resultado nos indica que existió un cambio en el proporcionamiento de los materiales de la mezcla determinados mediante el

diseño. En la gráfica de la figura N° 6.10 se muestra la resistencia a la compresión del CCR con diferentes cantidades de cemento.

Del resultado de la resistencia a compresión de los cilindros fabricados en campo se puede decir lo siguiente:

1. Se cambió específicamente el proporcionamiento determinado mediante el diseño de la mezcla, pudo ser por motivos de descuido del personal encargado de colocar el cemento, la arena, la grava, así como también al momento de colocar los agregados no se pueden medir con exactitud.

El diseño de mezcla de CCR fue probado en laboratorio obteniendo resultados deseados, acorde a los requerimientos de resistencia a flexión y compresión, dichos resultados de la prueba del diseño de mezcla en laboratorio tanto a compresión como a flexión se muestran en los formatos N° 3.13 y 3.14 ver anexos.

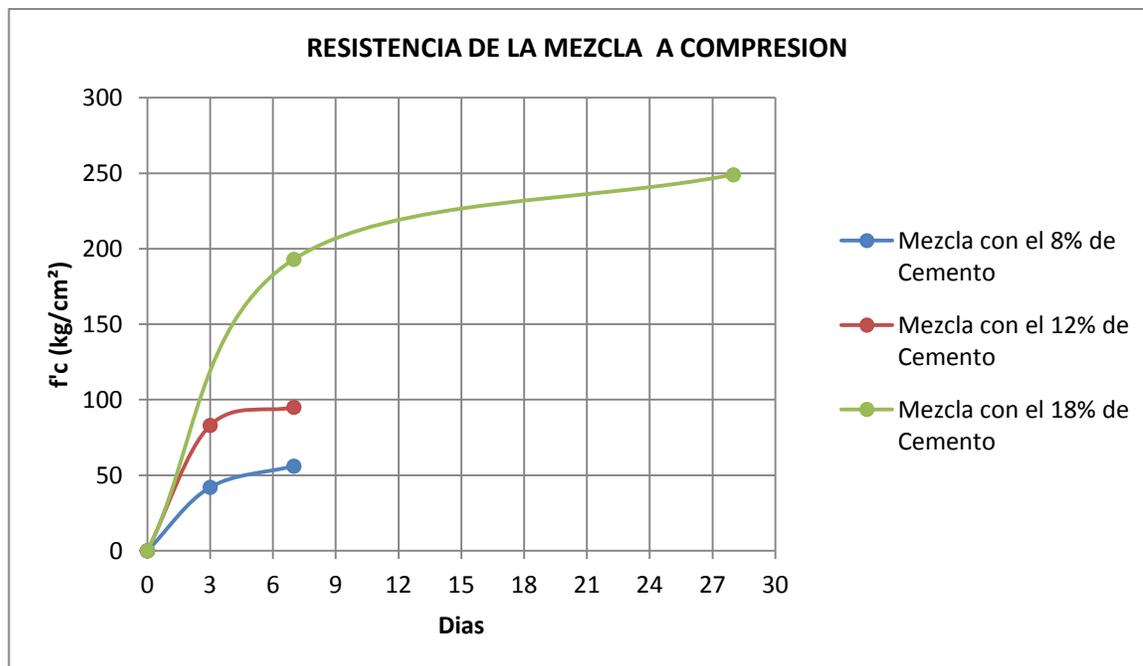


Figura N° 6.10 Resistencia a la compresión de las mezclas de CCR con diferentes contenidos de Cementos. Fuente: Grupo de Tesis.

6.8 RESISTENCIA DE LA MEZCLA A FLEXION.

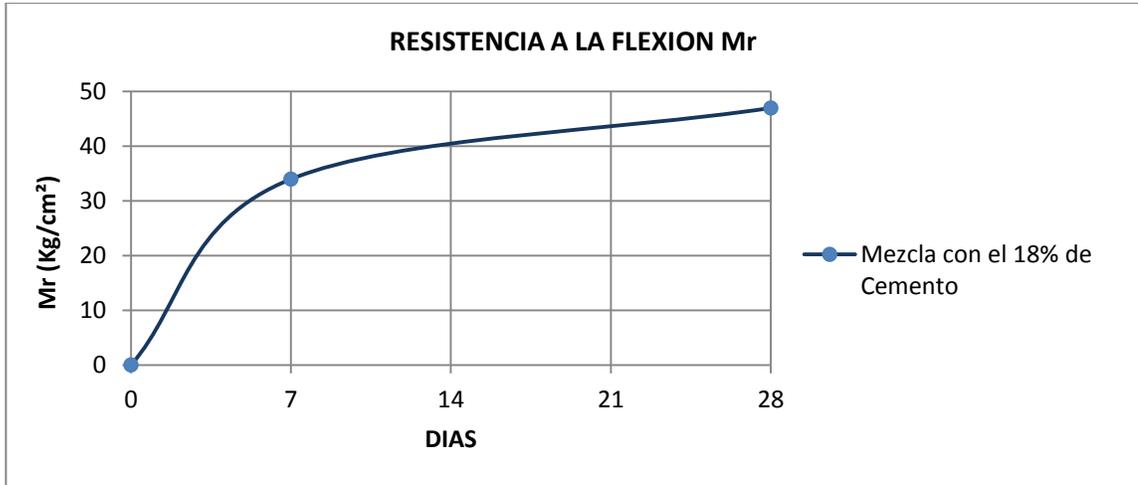


Figura N° 6.11 Resistencia a flexión de la mezcla. Fuente: Grupo de Tesis.

6.9 RELACION ENTRE F'C Y MR.

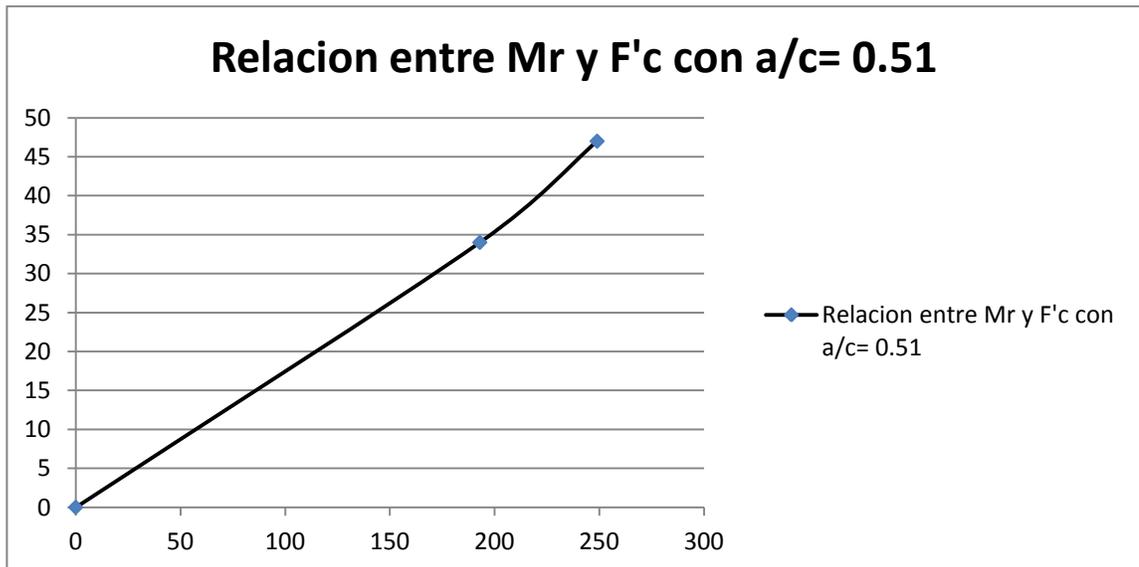


Figura N° 6.12 Relación entre Mr y F'c. Fuente: Grupo de Tesis.

6.10 COMPARACION ENTRE COSTOS DIRECTOS DE BACHEO CON AMBAS MEZCLAS.

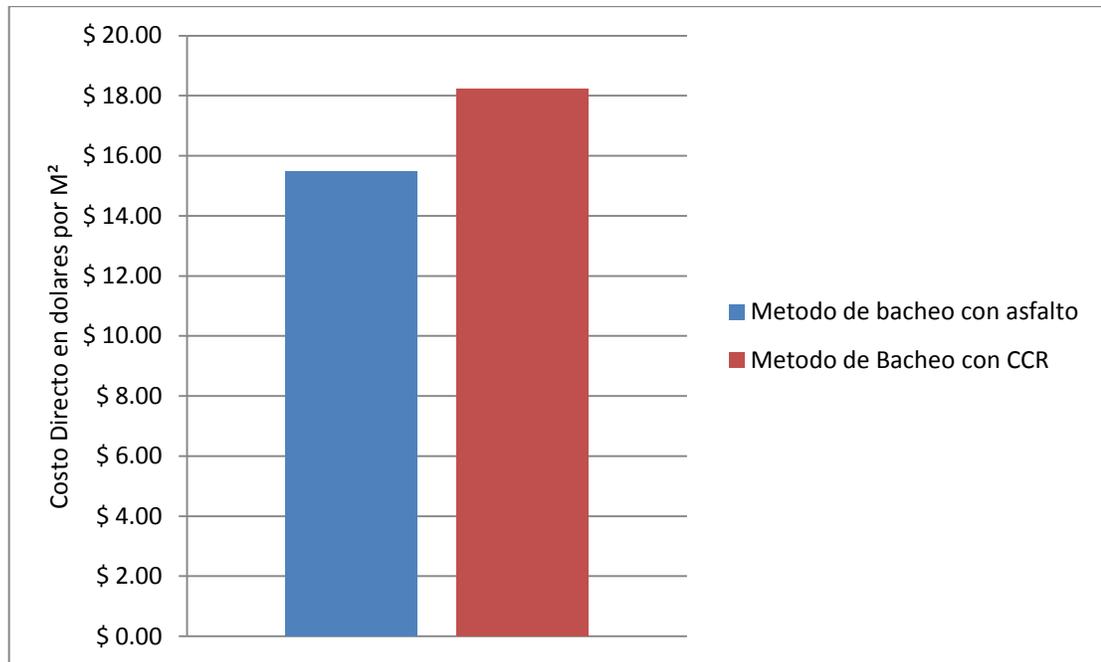


Figura N° 6.13 Comparación entre los costos directos de ambas mezclas. Fuente: Grupo de Tesis.

La comparación entre los costos directos de la mezcla de CCR con la asfáltica para bacheo profundo que se realiza mediante el grafico de barras que se muestra en la figura N° 6.13, nos proporciona visualmente cual técnica es la que resulta con un costo más alto al momento de reparar baches profundos, por lo cual la técnica que resulta más económica en la comparación antes mencionada es la técnica de bacheo con mezcla asfáltica en frío para bacheo profundo. Es de mucha importancia al momento de decidir la técnica a usar, el tomar en cuenta lo práctico que es la utilización del CCR para bacheo profundo, son pasos muy sencillos de fácil compresión y de materiales (cemento, arena y grava) que se encuentran al alcance de todos.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. El diseño de la mezcla de CCR en base al comité ACI 211.3 suministró como resultado una resistencia a la compresión (249 kg/cm²) por debajo de lo que se buscaba pero dentro del porcentaje de la resistencia esperada la cual la califica como un buen diseño, 1. sin embargo su resistencia a la flexión (47 kg/cm²) fue la que se buscaba, por lo cual se considera que la mezcla tiene resistencias apropiadas para su utilización en operaciones de bacheo.
2. En la elaboración de la mezcla de CCR en laboratorio se tuvo un mayor control en el proporcionamiento (realizado por peso), ya que se contó con el equipo necesario para pesar cada proporción de material y además el instrumento para medir la cantidad exacta del agua optima (determinada a través del Proctor modificado AASHTO T-180) que se le tiene que agregar partiendo de las humedades que contienen los agregados. Por otra parte en campo se volvió muy difícil el control exacto del proporcionamiento ya que se realizó por volumen y al momento de colocar los agregados en la concreteira con cualquier recipiente varia el proporcionamiento porque en unos se coloca más material y en otros menos, en el caso del agua se colocó hasta alcanzar un color gris oscuro uniforme y la consistencia similar a la encontrada en laboratorio.
3. La Técnica de Bacheo con CCR se basó en la sustitución de la estructura del pavimento flexible existente por una estructura rígida logrando así una estructura de pavimento equivalente.
4. La reparación de los baches en el tramo de prueba ubicado en la ciudad de Chalchuapa, mostro que la técnica de bacheo con Concreto Compactado con Rodillo es de fácil aplicación y de entendimiento para los que la realizan, además de mostrar en campo su funcionalidad y que la apertura al tráfico es inmediata después de finalizado el proceso de curado.

5. Los costos unitarios de la mezcla asfáltica en frío y del concreto compactado con rodillo se determinan, esto con el propósito de comparar precios entre ambos métodos y poder determinar cuál de estos es el más económico en el occidente de nuestro país, sin embargo es importante mencionar que se podría optar por la mezcla que genere menos gastos al momento de su aplicación, pero se tiene que tomar en cuenta otros aspectos como lo son durabilidad, resistencia, la facilidad de la aplicación, la apertura al tráfico (si se puede abrir inmediatamente o no) y la adquisición de los materiales para elaborar la mezcla, en fin el análisis y la comparación entre los costos unitarios de ambos métodos solo nos indicaran cual es el más económico en el momento de la colocación.

6. Los resultados de los costos unitarios, de la mezcla de concreto compactado con rodillo y de la mezcla asfáltica en frío nos brindan cual técnica es la más económica de una respecto a la otra, teniendo en el análisis como la más económica a la mezcla asfáltica en frío por una diferencia de dos dólares con setenta y cinco centavos de los Estados Unidos de América (\$ 2.75) por debajo de la técnica de concreto compactado con rodillo. El análisis se fundamentó en los costos unitarios directos sin IVA de cada mezcla. Los costos no son indicadores de lo práctico o fácil que puede ser una técnica al momento de su aplicación.

7. El proceso de mezclado del CCR en la concretera se finalizó hasta que la mezcla alcanzo un color gris oscuro uniforme y su consistencia similar a la del concreto fabricado en laboratorio.

8. La resistencia promedio a compresión (351 kg/cm^2) a siete días de edad (7) de los cilindros elaborados en campo, dieron por arriba de la resistencia encontrada en laboratorio a la misma edad, tal resultado a

compresión de los cilindros hechos en campo, es por un proporcionamiento que no era el indicado según el diseño de la mezcla.

9. La resistencia a la flexión de la mezcla elaborada en laboratorio dio como resultado 47 kg/cm², cumpliendo con el requerimiento a flexión para concretos compactados con rodillos referenciado en las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras y puentes regionales del SIECA.
10. En la colocación y compactación de la mezcla de CCR en campo solo se controla la compactación no resistencia a compresión y flexión, sin embargo se elaboraron cilindros para pruebas de compresión con fines académicos de control de la mezcla elaborada en campo.
11. Los resultados de las densidades de compactación en campo determinadas mediante el densímetro nuclear, dieron resultados óptimos los cuales están por arriba del 95% del peso volumétrico seco máximo encontrado en laboratorio(Proctor modificado AASTHO T-180), por tal razón dicha densidad alcanzada es la adecuada.
12. El ensayo granulométrico realizado al agregado grueso (grava de Gravera de Occidente) no cumple con la franja de control según ASTM C-33, sin embargo no se puede agregar otro material para mejorar su granulometría debido a que la investigación se basaba solo en la utilización de dicha grava. El agregado fino dio como resultado una curva granulométrica que cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-33, por lo que la arena se ajusta a los requerimientos para el diseño de la mezcla de Concreto Compactado con Rodillo y la grava se utilizara por la delimitación de la investigación a la zona occidental del país, las

demás pruebas realizadas (gravedad específica y absorción y peso unitario, así como la prueba de desgaste para la grava) dieron como resultado unos agregados adecuados para el diseño de la mezcla.

13. La combinación granulométrica óptima determinada con un método gráfico 43% grava y 57% arena, dio como resultado una curva granulométrica que está dentro de los límites establecidos por el comité ACI 211.3 hasta la malla N° 100 ya que en esta y en la malla N° 200 se sale de dichos rangos especificados, lo cual indica que la mezcla necesitara un poco más de cemento debido a la falta de finos que muestra dicha combinación. No se agregó otro material con el fin de mejorar la granulometría de esta combinación porque es con estos agregados (arena del Río las Cañas y grava de Graveras de Occidentes) con los que se planteó la investigación sin incluir otro agregado.
14. Se realizaron tres diseños de mezclas con el fin de determinar cuál era la que cumplía con los aspectos buscados en esta investigación, la mezcla seleccionada es la que contiene un 18% de cemento, dicha mezcla fue la que cumplió con los requerimientos de la investigación y a medida que el porcentaje de cemento aumentaba la relación agua-cemento disminuye y por tal razón aumenta la resistencia dando la menor relación A/C (0.51) en la mezcla seleccionada.
15. El resultado del peso unitario fue fundamental en la determinación del espesor de la capa de CCR sobre el nivel del pavimento existente (5 cm sobre el nivel del pavimento asfáltico existente).

16. La resistencia a la compresión fue aumentando proporcionalmente a la cantidad de cemento, y otro factor fue la relación agua-cemento que fue disminuyendo a medida que el cemento aumentaba.

17. La técnica de CCR para la reparación de baches, es de fácil aplicación y entendimiento, se utilizan equipos y materiales de fácil acceso, además de disminuir un paso con la técnica de CCR en el proceso de bacheo profundo respecto a los pasos que se realizan con una mezcla asfáltica, dicho paso es el evitar la compactación de suelo cemento para la base del pavimento y determinar el grado de compactación de esta. La reparación de un bache de aproximadamente 4.5 m² se realiza en aproximadamente 1 hora, incluidos todos los pasos para la reparación.

7.2 RECOMENDACIONES

Basándose en las conclusiones descritas anteriormente se dan las siguientes recomendaciones:

1. Tomando en cuenta las condiciones de nuestro país y los problemas referentes al ámbito ingenieril de las vías terrestres, se debe de dar importancia a todos aquellos métodos que sean técnica y económicamente factibles de realizar, por lo que se recomienda el uso del Concreto Compactado con Rodillo para reparaciones de baches en pavimentos flexibles.
2. Se recomienda que en la elaboración de un CCR en campo se cuente con un control en el proporcionamiento de los agregados para que dichas proporciones en volumen sean exactas y no se pierdan las especificadas mediante el diseño de la mezcla, para él agua es recomendable e importante contar con equipo mediante el cual se pueda determinar la

humedad de los agregados en campo y así agregar el agua exacta a la mezcla para alcanzar el peso volumétrico seco máximo.

3. Para la fabricación de la mezcla en laboratorio y en la obra se recomienda la limpieza continua de la concreteira, por el motivo que el CCR por ser seco se adhiere a las paredes de esta y dicho material puede influir en las propiedades de otra batchada.
4. Se recomienda que los agregados que se utilizan (arena y grava) en la elaboración del CCR no estén sobre saturados de agua en especial la arena ya que esta ya que esta guarda bastante agua si expone a la lluvia.
5. Se recomienda normar el procedimiento para la elaboración de viguetas con CCR.
6. Se recomienda una supervisión constante al momento de la realización de la revoltura para el CCR, para tener el control del proporcionamiento y del agua que se agrega a la mezcla, con el fin de fabricar un Concreto con las características de diseño del laboratorio.
7. Se recomienda, hacer la cantidad necesaria de concreto y no excederse de más, ya que la humedad se pierde rápidamente y en especial en días soleados o en verano. Así como en épocas lluviosas se debe de limitar a la fabricación y colocación del CCR ya que por las precipitaciones la mezcla puede alcanzar humedades arribas de las óptimas generando así menor resistencia para la que se diseñó.
8. Al momento de seleccionar la técnica de reparación de baches, se recomienda no inclinarse solamente por el costo, es de importancia

comparar también la facilidad de aplicación, la adquisición de los materiales, la resistencia y la durabilidad.

9. Se recomienda que el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto junto con la Alcaldía Municipal de Chalchuapa den seguimiento a los baches para ver su comportamiento en el tiempo.
10. Se recomienda realizar los ensayos de pesos unitarios, para la determinación del espesor de CCR en estado suelto a compactar.
11. Se recomienda que al aplicar la técnica propuesta de Concreto Compactado con Rodillo para reparaciones de baches profundos se use el proporcionamiento determinado mediante el diseño de la mezcla con los materiales especificados y el cemento debe ser Tipo GU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Manual de reparaciones duraderas y de bajo costo para operaciones de bacheo, utilizando mezclas de concreto compactado” Primera Edición 2004.
- Vice-Ministerio de Obras Públicas, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. “Algunas Consideraciones sobre aspectos relacionados con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) empleado en la construcción de pavimentos”, San Salvador, Septiembre 2003.
- Manual Centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales” 2002 Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

- Tesis: Concreto Compactado con Pavimentadora como Alternativa de Pavimentación para la Red Vial de El Salvador, Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería civil, 2004.
- Norma ASTM C-33 “Designación Estándar para Agregados de Concreto”. American Society for Testing and Materials.
- Norma AASHTO T-180 “Prueba Proctor Modificada”.
- ACI Committee 325 “Report on Roller-Compacted Concrete Pavement”. ACI 325.10R-01. American Concrete Institute.
- ACI 211.3R-97 Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete Reported by ACI Committee 211.
- Norma ASTM C-1435 “Práctica Estándar para el Moldeo de Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando Martillo Vibratorio”.
- Norma ASTM C-39 “Resistencia a Compresión de Cilindros Moldeados de Concreto”.
- Norma ASTM C-78 “Resistencia a flexión del concreto, usando vigas libremente apoyadas con cargas concentradas en los tercios del claro”.
- Norma ASTM C-2922 “Densidad de suelo en el lugar Método Nuclear”.
- Tesis: Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos, Ing. Miriam Rossana Escalaya Advincula.

ANEXOS

- ANEXO 1. REFERENTE CONCEPTUAL.
- ANEXO 2. FORMATO ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL 8% DE CEMENTO EDAD 3 DIAS
- ANEXO 3. FORMATO ELABORACION DE ESPECIMENES DEL 8% DE CEMENTO EDAD 7 DIAS
- ANEXO 4. FORMATO ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL 12% DE CEMENTO EDAD 3 DIAS
- ANEXO 5. FORMATO ELABORACION DE ESPECIMENES DEL 12% DE CEMENTO EDAD 7 DIAS
- ANEXO 6. FORMATO ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL 18%. DE CEMENTO EDAD 7 DIAS
- ANEXO 7. FORMATO ELABORACION DE ESPECIMENES DEL 18%. DE CEMENTOS EDAD 28 DIAS
- ANEXO 8. FORMATO ELABORACION DE VIGAS DEL 18% EDAD 28 DIAS.
- ANEXO 9. FORMATO ELABORACION DE VIGAS 18% DE CEMENTO EDAD 7 DIAS.
- ANEXO 10. USO DE TABLA DE EXCEL PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA.
- ANEXO 11. FACTOR DE PRESTACION
- ANEXO 12. MEZCLA ASAFALTICA EN FRIO

ANEXO 1. REFERENTE CONCEPTUAL

COMPACTACION EXTERNA: Es la operación previa, para aumentar la resistencia de un suelo u otro material compactable. Aplicando una cantidad de energía la cual es necesaria para producir una disminución apreciable del volumen hueco del material utilizado.

PAVIMENTO ASFALTICO: Pavimento compuesto de una capa de agregados envueltos y aglomerados con betún asfáltico; y se compone de al menos tres capas que son subrrasante (suelo), base granular y carpeta asfáltica.

SUBRRASANTE: Es la fundación del pavimento, que debe tener la resistencia necesaria para soportar su peso y el del tránsito esperado. Debe garantizar un buen drenaje, una superficie suave, tener un coronamiento correcto y estar completa y uniformemente compactada a la densidad requerida.

BASE GRANULAR: Está compuesta por agregados, colocados y compactados sobre la subrrasante. Debe tener una resistencia uniforme dentro de los límites de tolerancia de la rasante y su superficie debe estar libre de desechos y acumulaciones de polvo.

CARPETA ASFÁLTICA: Es la parte superior del pavimento flexible, la que proporciona la superficie de rodamiento. Se elabora con un material pétreo seleccionado y un producto asfáltico, que depende del tipo de camino que se va a construir.

BACHE: Oquedad en la estructura de un pavimento cuyo origen se da por el desprendimiento de una parte de la superficie de rodamiento al paso de los vehículos. Posteriormente se van formando oquedades mayores en área y profundidad.

BACHE SUPERFICIAL: es aquel en el cual el daño únicamente se ha presentado a nivel de la carpeta asfáltica.

BACHE PROFUNDO: es aquel en el cual el daño ya se ha presentado a nivel de base del pavimento o a una profundidad mayor.

CONCRETO DE CERO REVENIMIENTO: Concreto cuya resistencia corresponde a un revenimiento de 0.5 cm o menor, es decir, a la de un concreto muy seco pero lo suficientemente trabajable. Se utiliza cuando se requiere lograr gran desarrollo de resistencia a temprana edad, para su colocación es necesario el uso de equipo especial como vibrocompactadoras o rodillos”.

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS: Diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso.

ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL: son propiedades que determinan el control del contenido neto de agua en el concreto; además determinar los pesos correspondientes de cada mezcla.

AGREGADO FINO: la proporción de arena en la mezcla y el porcentaje de finos que pasa la malla N° 200 (0.75 mm).

AGREGADO GRUESO: Son todos aquellos que dichas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm.

AGUA DE MEZCLADO: es el agua para la mezcla que debe estar libre de una excesiva cantidad de álcalis, ácidos o material orgánico que pueden inhibir la adecuada ganancia de resistencia. La mayoría de las mezclas de CCR requieren de 89 a 119 Kg de agua por m³ para agregados de tamaño máximo mayor que 2 pulg (50 mm)”.

CCR PARA BACHEO: se define como una mezcla de cemento y agregados seleccionados, con un contenido de agua suficientemente reducido para permitir su compactación con rodillo. Dicho concreto está destinado a reparaciones de baches en pavimentos asfálticos.

CEMENTO: es un material de construcción formado por la mezcla de varios elementos adhesivos. Se conoce también por el nombre de cemento hidráulico, nombre que incluye a todas aquellas sustancias aglomerantes que hacen fraguar y endurecer la mezcla con agua, lo que puede suceder incluso, bajo el agua

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO: “Consiste en emplear mezclas de concreto con un contenido de cemento similar (250 – 400 kg./ m³), aunque ligeramente menor, al del concreto convencional vibrado, con un tamaño máximo del agregado grueso no superior a 19 mm., pero con una relación agua/cemento muy baja (0.25-0.40) que lo hace muy seco, sin revenimiento en el cono de Abrams, de trabajabilidad tal que se consolida por vibración externa por medio de rodillos vibratorios” .

CONSOLIDACIÓN DEL CONCRETO: ésta se presenta mediante la vibración del concreto se ponen en movimiento las partículas en el concreto recién mezclado, con ello se reduce la fricción entre ellas y además se le da a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. Dicha acción que hace vibrar la mezcla permite que al encontrarse dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino.

DISEÑO DE MEZCLA: se debe producir un material que cumpla con los requerimientos necesarios, a través de una relación que garantice disminuir materiales disponibles que deban ser colocados por métodos de compactación con rodillo. Las propiedades físicas deseadas de la mezcla dependen de la función, localización y el diseño escogido para la estructura.

GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS: La granulometría o distribución de diámetros de las partículas de agregado se determina mediante un análisis granulométrico (norma ASTM C 136). Existen varias razones para especificar los límites granulométricos y el diámetro máximo del agregado estos dos factores influyen en las proporciones relativas del agregado, así como en los requisitos de cemento y agua, en la trabajabilidad, en la economía, en la porosidad y en la contracción del concreto.

GRAVEDAD ESPECÍFICA: La gravedad específica representa la relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, que se toma como patrón, generalmente para sólidos y líquidos se emplea el agua destilada y para gases, el aire o el hidrógeno; además denominada como peso específico.

MODULO DE FINURA: Este parámetro es obtenido mediante una suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados

PESO VOLUMÉTRICO: El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.

RELACIÓN AGUA – CEMENTO: La cantidad de agua que se necesita en el CCR es la que estará involucrada con el proceso de fraguado y el agua necesaria para la obtención del contenido óptimo de humedad para lograr la densidad óptima de campo en la compactación. Pero la cantidad de agua necesaria para el fraguado es mayor que la necesaria para la compactación.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: La resistencia a la compresión varía principalmente por la relación agua/cemento de la mezcla, una vez estando el concreto totalmente compactado, se puede decir que la resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la relación agua/cemento; ya que

con las bajas relaciones agua/cemento de los concretos compactados con rodillo, se obtienen altas Resistencias a la Compresión.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: A la resistencia a la flexión, se le conoce como módulo de ruptura, que para un concreto de peso normal ligero se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

RESISTENCIA AL DESGASTE: El concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Debido a que la resistencia a la compresión depende de la relación Agua – Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. Existen factores como tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también poseen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Se determina de acuerdo a ensayos de resistencia a la abrasión según normas ASTM C418 y C944.

ANEXO 2. FORMATO ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL 8% DE CEMENTO EDAD 3 DIAS

Proyecto : CCR BACHEO UES STA ANA
Fecha : 12- Abril- 2011
Laboratorista: Tec. JH
Reviso :JH

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	72000		
% de Humedad	2,21		
Masa de Muestra seca g	70443,21		
Agua aportada, ml	1556,79		
% de Cemento	8,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	5635,46		
Masa total seca (suelo + cemento)	76078,66		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,00		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	2,05		
% Humedad restante	6,95		
Cantidad de Agua adicional, ml	5290,28		

Identificación del molde	1	2	3
Masa del molde, Kg	9,9	10,1	10,1
Masa de molde + espécimen, Kg	21,5	20,7	21,7
Masa de espécimen, Kg	11,6	10,6	11,6

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2152	1966,6	2152,1
Peso volumétrico, Kg/m ³ (corregido T224)	2276	2276	2276
% de compactación	94,5	86,41	94,5
Edad de Ruptura (días)	3	3	3
Fecha de Ruptura	15-abr-11	15-abr-11	15-abr-11

Observaciones:

**ANEXO 3. FORMATO ELABORACION DE ESPECIMENES DEL 8% DE
CEMENTO EDAD 7 DIAS**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 12- Abril- 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	72000		
% de Humedad	2,21		
Masa de Muestra seca g	70443,21		
Agua aportada, ml	1556,79		
% de Cemento	8,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	5635,46		
Masa total seca (suelo + cemento)	76078,66		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,00		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	2,05		
% Humedad restante	6,95		
Cantidad de Agua adicional, ml	5290,28		

Identificación del molde	4	5	6
Masa del molde, Kg	10,1	10	10
Masa de molde + espécimen, Kg	21,8	21,8	21,9
Masa de espécimen, Kg	11,7	11,8	11,9

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2170,6	2189,24	2207,8
Peso volumétrico, Kg/m ³ (corregido T224)	2276	2276	2276
% de compactación	95,4	96,2	97
Edad de Ruptura (días)	7	7	7
Fecha de Ruptura	19-abr-11	19-abr-11	19-abr-11

--

**ANEXO 4. FORMATO ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL 12% DE
CEMENTO EDAD 3 DIAS**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 25- Abril- 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	74052		
% de Humedad	2,85		
Masa de Muestra seca g	72000,00		
Agua aportada, ml	2052,00		
% de Cemento	12,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	8640,00		
Masa total seca (suelo + cemento)	80640,00		
% Humedad optima (suelo + cemento)	7,70		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	2,54		
% Humedad restante	5,16		
Cantidad de Agua adicional, ml	4157,28		

Identificación del molde	1	2	3
Masa del molde, Kg	10,1	10	10
Masa de molde + espécimen, Kg	21,8	21,8	21,9
Masa de espécimen, Kg	11,7	11,8	11,9

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2263	2245	2205
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2312	2312	2312
% de compactación	97,9	97,1	95,4
Edad de Ruptura (días)	3	3	3
Fecha de Ruptura	28-abr-11	28-abr-11	28-abr-11

Observaciones:

**ANEXO 5. FORMATO ELABORACION DE ESPECIMENES DEL 12% DE
CEMENTO EDAD 7 DIAS**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.			
Fecha : 25- Abril- 2011			
Laboratorista :			
Reviso :			
Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	74052		
% de Humedad	2,85		
Masa de Muestra seca g	72000,00		
Agua aportada, ml	2052,00		
% de Cemento	12,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	8640,00		
Masa total seca (suelo + cemento)	80640,00		
% Humedad optima (suelo + cemento)	7,70		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	2,54		
% Humedad restante	5,16		
Cantidad de Agua adicional, ml	4157,28		

Identificación del molde	4	5	6
Masa del molde, Kg	10,1	10	10
Masa de molde + espécimen, Kg	21,8	21,8	21,9
Masa de espécimen, Kg	11,7	11,8	11,9

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2217	2226	2198,5
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2312	2312	2312
% de compactación	95,9	96,3	95,1
Edad de Ruptura (días)	7	7	7
Fecha de Ruptura	02-may-11	02-may-11	02-may-11

Observaciones:

**ANEXO 6. FORMATO PARA LA ELABORACION DE ESPECÍMENES DEL
18%. DE CEMENTO EDAD 7 DIAS**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 04 - Mayo - 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	40000		
% de Humedad	1,35		
Masa de Muestra seca g	39467,19		
Agua aportada, ml	532,81		
% de Cemento	18,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	7104,09		
Masa total seca (suelo + cemento)	46571,29		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,10		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	1,14		
% Humedad restante	7,96		
Cantidad de Agua adicional, ml	3705,18		

Identificación del molde	3	4	5
Masa del molde, Kg	10,12	10,02	10,2
Masa de molde + espécimen, Kg	22,8	22,7	22,9
Masa de espécimen, Kg	12,68	12,68	12,697

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2352,5	2352,5	2355,65
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2279	2279	2279
% de compactación	103,2	103,2	103,4
Edad de Ruptura (días)	7	7	7
Fecha de Ruptura	11-may-11	11-may-11	11-may-11

Observaciones:

**ANEXO 7. FORMATO PARA LA ELABORACION DE ESPECIMENES DEL
18%. DE CEMENTOS EDAD 28 DIAS**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 11 - mayo – 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	72000		
% de Humedad	3,85		
Masa de Muestra seca g	69330,77		
Agua aportada, ml	2669,23		
% de Cemento	18,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	12479,54		
Masa total seca (suelo + cemento)	81810,30		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,10		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	3,26		
% Humedad restante	5,84		
Cantidad de Agua adicional, ml	4775,50		

Identificación del molde	4	5	6
Masa del molde, Kg	10,7	10,2	10,1
Masa de molde + espécimen, Kg	22,75	22,5	22
Masa de espécimen, Kg	12,05	12,3	11,9

Volumen			
Diámetro, cm	15,1	15,1	15,1
Altura, cm	30,1	30,1	30,1
Volumen, m ³	0,00539	0,00539	0,00539

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2235,6	2282	2207,8
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2279	2279	2279
% de compactación	98,1	100,1	96,9
Edad de Ruptura (días)	28	28	28
Fecha de Ruptura	08-jun-11	08-jun-11	08-jun-11

--

**ANEXO 8. FORMATO PARA LA ELABORACION DE VIGAS DEL 18% EDAD
28 DIAS.**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 11 - Mayo - 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	72000		
% de Humedad	3,83		
Masa de Muestra seca g	69344,12		
Agua aportada, ml	2655,88		
% de Cemento	18,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	12481,94		
Masa total seca (suelo + cemento)	81826,06		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,20		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	3,25		
% Humedad restante	5,95		
Cantidad de Agua adicional, ml	4872,12		

Identificación del molde	1	2	-
Masa del molde, Kg	31	31	-
Masa de molde + espécimen, Kg	63,9	63,8	-
Masa de espécimen, Kg	32,9	32,8	-

Longitud (L), cm	46	46	-
Ancho, cm	15,5	15,5	-
Altura, cm	15,4	15,4	-
Volumen, m ³	0,01098	0,01098	-

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2366	2362	-
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2279	2279	-
% de compactación	103,8	103,6	-
Edad de Ruptura (días)	28	28	-
Fecha de Ruptura	08-jun-11	08-jun-11	-

Observaciones:

**ANEXO 9. FORMATO PARA LA ELABORACION DE VIGAS 18% DE
CEMENTO EDAD 7 DIAS.**

Proyecto: CCR BACHEO UES STA ANA.
Fecha : 11 - Mayo - 2011
Laboratorista :
Reviso :

Muestra N°	1	2	3
Masa de suelo Húmedo g	72000		
% de Humedad	3,83		
Masa de Muestra seca g	69344,12		
Agua aportada, ml	2655,88		
% de Cemento	18,00		
Masa de cemento en base a suelo seco, g	12481,94		
Masa total seca (suelo + cemento)	81826,06		
% Humedad optima (suelo + cemento)	9,20		
% de Humedad aportada por suelo a masa total	3,25		
% Humedad restante	5,95		
Cantidad de Agua adicional, ml	4872,12		

Identificación del molde	1	2	-
Masa del molde, Kg	31	31	-
Masa de molde + espécimen, Kg	63,3	62,9	-
Masa de espécimen, Kg	32,3	31,9	-

Longitud (L), cm	46	46	-
Ancho, cm	15,5	15,5	-
Altura, cm	15,4	15,4	-
Volumen, m ³	0,01098	0,01098	-

Peso volumétrico, Kg/m ³ (Lab)	2388,5	2371,3	-
Peso volumétrico, Kg/m ³ (Húmedo T180)	2279	2279	-
% de compactación	104,8	104,1	-
Edad de Ruptura (días)	7	7	-
Fecha de Ruptura	18-may-11	18-may-11	-

Observaciones:

ANEXO 10. USO DE TABLA DE EXCEL PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA

El uso de la tabla de Excel para la determinación de las proporciones de la mezcla que se muestra en las tablas N° 3.8, 3.9 y 3.10, mostrando los datos de entrada y los de salida son los siguientes:

TABLA DE DATOS.

DATOS DE LOS AGREGADOS Y DEL CEMENTO				
Materiales	Modulo de finura	Peso Unitario Varillado	Gravedad Especifica	Absorcion
Cemento			2.91	
Arena	2.59	1441.31 Kg/m3	2.42	3.37 %
Grava		1613.31 Kg/m3	2.72	2.03

CARACTERISTICAS DEL PROCTOR		
PVS MAX	2089 Kg/m3	1
PVH MAX	2279 Kg/m3	2
COH	9.10 %	3
CEMENTO	18.00 %	

MATERIALES CON PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO TMN 3/4"					
COMPONENTES			PORCENTAJES	PESOS DE MATERIALES POR M ³	
AGREGADOS	82.00 %	1712.98 Kg/m3	Arena	57.00%	976.40 Kg/m3
			Grava	43.00%	736.58 Kg/m3
CEMENTO	18.00 %	376.02 Kg/m3		18.00 %	376.02 Kg/m3
AGUA (COH)		190.10 Lts		9.10 %	190.10 Lts
			PVHumedo MAX		2279 Kg/m3
A/C					0.51
			BOLSAS DE CEMENTO		8.8 Bol

DATOS DE ENTRADA:

1. **(1)** Se ingresa el Peso volumétrico Seco Máximo (PVSM).
2. **(2)** Se ingresa el Peso Volumétrico Húmedo Máximo (PVHM).
3. **(3)** Se ingresa el Contenido Óptimo de Humedad (COH).

DATOS DE SALIDA: dan los resultados que se muestran en la columna "PESOS DE MATERIALES POR M³"

TABLA PARA LA DETERMINACION DEL PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA DE CCR

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA BACHEO EN PAVIMENTO ASFALTICO MEDIAN CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS													
ANALISIS TECNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), COMO ALTERNATIVA DE BACHEO PARA LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.										FECHA : Junio del 2011			
										HORA: 10:00 a.m.			
MEZCLA	Cemento	Relacion A/C	Tam. Max. Nom	Resistencia a Compresion 280 kg/cm²									
DOSIFICACION	18 %	0.51	3/4 "	Resistencia a Flexion 45 kg/cm²									
DISEÑO N°	3												
MATERIAL 1	FUENTE 2	GRAVEDAD ESPECIFICA 3	PESO SECO (KG/M ³) 4	VOLUMEN LITROS (L) 5	CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION				AGUA APORTADA Lts 10	11 CANTIDAD CORREGIDA PESOS 1 M ³	PARA 1 BOLSA PESO KG 12	VOLUMEN M ³ 13	
					6 HUMEDAD %	7 ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE % 8	HUMEDAD Kg 9					
Cemento 1157 Tipo GU	HOLCIM	2.91	376	129.2						376	42.5	0.028	
Arena (57%)	Rio las Cañas Apopa	2.42	976	403.5	1.35	3.37	2.02	13.18	19.7	990	110.4	0.077	
Grava (43%)	Planta. Graveras de Occidente	2.72	737	270.8	0.90	2.03	1.13	6.63	8.3	743	83.3	0.052	
Agua	Anda	1	190	190.1	si da positivo sumar →				28.0		218	24.7	0.025
Aire Atrapado				20.000						0.02	0.0	0.020	
sumas		PVHMax	2279 Kg/m ³	1013.588						2327 Kg/m ³	260.77 Kg	0.181 m ³	

Bolsas de cemento	8.8 Bolsa
-------------------	-----------

PROPORCIONES POR PESO		
1 :	2.6 :	2.0

DATOS DE ENTREGA:

1. **COLUMNA 1 MATERIAL:** En esta columna se detalla el tipo de materia utilizado.
2. **COLUMNA 2 FUENTE:** se ingresa la fuente de donde provienen los materiales de la columna 1.
3. **COLUMNA 3 GRAVEDAD ESPECIFICA:** en esta columna se ingresan los datos de la gravedad específica de los agregados y del cemento obtenidos mediante los ensayos de laboratorio mencionados en el capítulo tres (esto para la arena y la grava) para el cemento la gravedad específica fue suministrada por Holcim.
4. **COLUMNA 4 PESO (KG/M³):** se ingresan los datos obtenidos del Proctor modificado AASHTO T 180, respecto al peso volumétrico seco máximo que están relacionados con la tabla de datos.
5. **COLUMNA 5 VOLUMEN EN LITROS:** son la cantidad de materiales de la columna 4 en volumen.

6. **COLUMNA 6 HUMEDAD (%):** se ingresa la humedad de los agregados en estado natural.
7. **COLUMNA 7 ABSORCION (%):** se ingresa la absorción de los agregados determinada mediante el ensayo de laboratorio que se describe en el capítulo tres.

DATOS DE SALIDA:

8. **COLUMNA 8 HUMEDAD LIBRE (%):** muestra el resultado de la diferencia entre la absorción (columna 7) y la humedad (columna 6) que contienen los agregados.
9. **COLUMNA 9 HUMEDAD (KG):** muestra el resultado del agua a quitar o agregar al agua de diseño de la mezcla.
10. **COLUMNA 10 AGUA APORTADA EN LITROS:** muestra el resultado del agua que aporta la arena y la grava en la mezcla.
11. **COLUMNA 11 CANTIDAD CORREGIDA:** muestra el resultado de los pesos corregidos por la humedad existente.
12. **PESOS PARA UNA BOLSA:** muestra el resultado de los materiales que se necesitan para una bolsa de cemento.
13. **COLUMNA 13 VOLUMEN (M³):** muestra el resultado de la columna 12 en volumen.
14. **NUMERAL 14 PROPORCIONAMIENTO POR PESO:** muestra el resultado del proporcionamiento de la mezcla en peso.

El porcentaje de cemento, la relación a/c, tamaño máximo nominal del agregado, resistencia a compresión y flexión nada más muestran la descripción de la mezcla.

ANEXO 11. FACTOR DE PRESTACION.

FACTOR DE PRESTACION

CALCULO DEL FACTOR DE PRESTACION PARA TRABAJADOR

CALCULO DESEMBOLSO PARA 1 AÑO

Salario 1 año =	(365)*(\$8.77) =	\$ 3201.05
	(8.50%)*(\$3201.05)	
Cuota Patronal ISSS =	=	\$ 272.08
Cuota Patronal AFP =	(6.75%)*(\$3201.05)=	\$ 216.07
Vacaciones (C135) =	(8.00%)*(\$3201.05)=	\$ 256.08
Aguinaldo (C134) =	(6.00%)*(\$3201.05)=	\$ 192.06
Prima de seguro =	(1.50/mes)* (12)=	\$ 18.00
TOTAL DESEMBOLSOS		\$ 4155.34

CALCULO DE DIAS EFECTIVOS LABORALES PARA UN AÑO DE TRABAJO

Días	Total
Domingos	52
Sábados	26
Asuetos	15.5
Incapacidad ISSS	6
Permisos	6
Imprevistos	6
TOTAL	111.5

Días Efectivos Laborales = (365 - 111.5)= **253.5 días**

Salario Efectivo por Día =
$$\frac{\text{TOTAL DESEMBOLSOS 1 AÑO}}{\text{DIAS EFECTIVOS LABORALES}}$$

$$\text{Salario Efectivo por Día} = \frac{\$4,155.34}{253.5 \text{ días}}$$

$$\text{Salario Efectivo por Día} = \mathbf{\$ 16.39/ DIA}$$

$$\text{FACTOR DE PRESTACION} = \frac{\text{SALARIO EFECTIVO POR DIA}}{\text{SALARIO DIARIO}}$$

$$\text{FACTOR DE PRESTACION} = \frac{\$ 16.39/ DIA}{\$ 8.77/ DIA \text{ (Laudo)}}$$

$$\text{FACTOR DE PRESTACION} = \mathbf{1.87 = 1.90}$$

ANEXO 12. MEZCLA ASFALTICA EN FRIO.

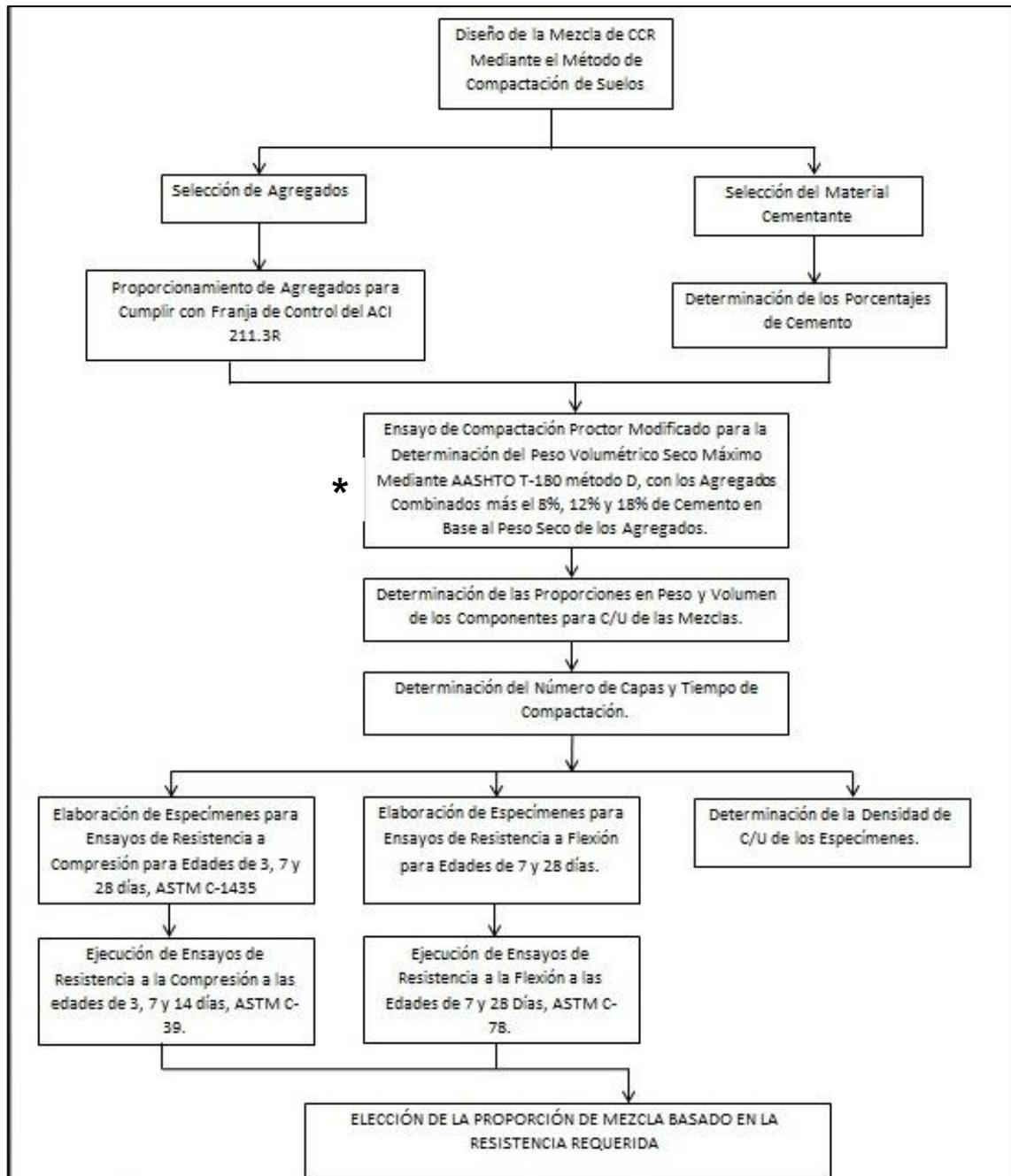
Mezcla en frio (COLD MIX ASPHALT) con emulsión asfáltica de rompimiento lento (CSS-1h) con granulometría densa-continua según la tabla 703-9 del manual centroamericano de construcción y mantenimiento SIECA, para un tamaño máximo nominal de 3/4 y una humedad de mezclado de 8% y una humedad de compactación de 5% sobre el peso volumétrico de la combinación.

Tabla 703-9
Rangos requeridos
Granulometría densa para pavimentos con emulsión asfáltica

Malla	Porcentaje por peso pasando la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T 11)				
	Designación de la Granulometría				
	A	B	C	D	E
50 mm	100				
37.5 mm	95 – 100	100			
25 mm	-	95 – 100	100		
19 mm	60 – 80 (7)	-	95 – 100	100	
12.5 mm	-	60 – 80 (7)	-	95 – 100	100
9.5 mm	-	-	60 – 80 (7)	-	95 – 100
4.75 mm	20 – 55 (7)	25 – 60 (7)	35 – 65 (7)	45 – 70 (7)	60 – 80 (7)
2.36 mm	10 – 40 (6)	15 – 45 (6)	20 – 50 (6)	25 – 55 (6)	35 – 65 (6)
300 µm	2 – 16 (4)	3 – 18 (4)	3 – 20 (4)	5 – 20 (4)	6 – 25 (4)
75 µm	0 – 5 (3)	1 – 7 (3)	2 – 8 (3)	2 – 9 (3)	2 – 10 (3)

() Desviación permisible (±)

ANEXO 13. FLUJOGRAMA: “PASOS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CCR” FUENTE: GRUPO DE TESIS.



*En este paso se trata la mezcla de CCR como suelo.

ANEXO 14. FLUJOGRAMA: “PASOS PARA LA APLICACION DE LA TECNICA DE CCR EN LA REPARACION DE BACHES PROFUNDOS” FUENTE: GRUPO DE TESIS.

