

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERA CIVIL**



**“EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO, UTILIZANDO PARA LA
ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES LA MESA
VIBRATORIA DE ACUERDO A LA NORMA ASTM C 1176
Y EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR DE ACUERDO
A LA NORMA ASTM C 1435”**

PRESENTADO POR:

**MERLIN OLIMPIA BAÑOS SÁNCHEZ
TATIANA VANESSA FLORES FLAMENCO
ELDER IVÁN SANTOS FABIÁN**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título

:

**“EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO, UTILIZANDO PARA LA
ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES LA MESA
VIBRATORIA DE ACUERDO A LA NORMA ASTM C 1176
Y EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR DE ACUERDO
A LA NORMA ASTM C 1435”**

Presentado por

:

**MERLIN OLIMPIA BAÑOS SÁNCHEZ
TATIANA VANESSA FLORES FLAMENCO
ELDER IVÁN SANTOS FABIÁN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

:

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA
ING. JAIME OMAR AVALOS MENDOZA**

San Salvador, Enero de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. JAIME OMAR AVALOS MENDOZA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios todopoderoso, por habernos permitido concluir otra etapa importante de nuestras vidas, dándonos la ayuda que necesitamos, en el momento justo, y guiarnos con sabiduría, para finalizar ésta carrera universitaria.

Queremos agradecer además, a nuestros docentes directores, **Ingra. Lesly Emidalia Mendoza** e **Ing. Jaime Omar Avalos Mendoza**, por su valiosa colaboración, entrega, tiempo y conocimientos compartidos, a lo largo del desarrollo de toda la investigación, y con lo cual, hemos podido concluir satisfactoriamente todo este esfuerzo en conjunto.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron desinteresadamente durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, con información actualizada, asesoría técnica, instalaciones y equipo de laboratorio. De manera muy especial, agradecemos a las siguientes instituciones que en su debido momento nos brindaron su valiosa colaboración:

 **Universidad de El Salvador (UES)**

 **Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)**

 **Holcim El Salvador**

A los diferentes profesionales de las instituciones y empresas, que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo brindándonos su apoyo para la elaboración de este trabajo de graduación, especialmente a:

- Ing. Rafael Alejandro González Magaña
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez
- Ing. Ricardo Burgos Oviedo

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

- Sra. Maritza de Avilés (ISCYC)
- Tec. Julio Hernández. (ISCYC)
- Ing. Dimas Ali García (ISCYC)
- Tec. Víctor Samuel Ramírez (ISCYC)
- Tec. Ronald Retana Pineda (ISCYC)
- Sra. Roxana Galicia (UES)
- Tec. Carlos Edgardo Morataya (UES)
- Ing. José Miguel Landaverde (UES)
- Ing. Dilber Antonio Sánchez (UES)
- Ing. Evelio López (UES)
- Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes (UES)

Queremos agradecer a las personas que nos colaboraron de manera especial y desinteresada para la culminación de este trabajo de graduación:

- Marlon Ebiezer Sánchez
- Lisandra Soriano
- Verónica Mancuso
- Elder Santos Avelar

Los Autores

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO:

A *DIOS*, que me da bendiciones, me guía y protege a diario, así como lo hizo en estos años de estudio, Él ha sido quien me ha brindado sabiduría para conducirme por la vida.

A *MIS PADRES*, **Moris Baños y Mirna Sánchez**: Deben saber que nunca existirá forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo.

A *MIS HERMANAS*, **Krissia y Mandy**, por ser y estar, por compartir el espacio y los momentos significativos por el apoyo que brindan cada vez que llego a casa, me hacen sentir querida.

A *MIS ABUELITOS*, los cuatro queridos abuelos que de una o de otra manera siempre estuvieron pendientes de mí dándome consejos. Con mucho cariño a mi abuelito Chicho... te extraño abuelo!

A *TODOS MIS FAMILIARES*, Pero en especial al **tío Nelson Sánchez y Teresita Leiva** que me acogieron por mucho tiempo como su hija y me apoyaron en gran medida para seguir mis metas.

A *MI NANA*, **Luisa Pérez (Q.E.D.P)** me cuidaste por muchos años, y aunque no lograste ver mi triunfo, sé que me estás viendo desde allá arriba!

A *MIS COMPAÑEROS DE TESIS*, **Tati y Elder**: Por tenerme paciencia, aunque muchas veces no nos entendimos, salimos victoriosos y alcanzamos de manera satisfactoria el proyecto que un día empezó como un sueño... Lo logramos chicos!!

A *MIS AMIGOS*, porque son de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de sí mismos, sin esperar nada a cambio... porque saben escuchar y me brindaron su ayuda cuando los necesité... porque se han ganado mi cariño, admiración y respeto: **Marlon Sánchez, Beatriz Montoya, Alfredo Flores, Erick Paiz**

En especial a **Lisandra**, porque siempre has sido el pilar que le faltaba este grupo; **Adán**, porque siempre está ahí cuando más lo necesito; a **Elder Primo**, su apoyo moral y sus ocurrencias fueron imprescindibles (gracias por darnos posada)... A todos por sus preciados consejos y gratos momentos.

A *MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN*, por todos los momentos que compartimos juntos: **Víctor León, Mauri, Felipe, Álvaro, Breyen, Godo, Chamba, Víctor Serrano, Arturo...**

A *MIS MAESTROS*: Como muestra de cariño, por todo el apoyo brindado y la orientación que siempre me han otorgado; en especial al **Ing. Evelio López e Ing. Dilver Sánchez** quienes siempre me ayudaron con sus conocimientos y ánimos para seguir. Y a mis maestros de Básica y Bachillerato que me animaron a optar por esta carrera.

A TODOS LOS FUTUROS INGENIEROS... ¡Nunca desistan!

Merlin Baños

DEDICATORIA

He llegado a la meta de esta carrera a la cual me inscribí para participar y correr, son muchos los que empiezan, pero pocos los que la terminan. Los obstáculos no han sido fáciles pero alguien puso en mí, su Corazón guerrero, su Espíritu vencedor y una Mente combativa para lograr llegar al final del camino...**JESÚS**.

Con las herramientas listas "**Corazón, Espíritu y Mente**", inicie la competencia...el recorrido fué cansado, pero Josué 1:9, me recordaba que tenía que continuar en la carrera...

En medio del trayectoria, Dios puso ángeles para ayudarme, y muchos de ellos se convirtieron en mis amigos, personas que aunque no conozco, me dieron su consejo de cual es la dieta balanceada para lograr el éxito (también puso personas las cuales no creyeron en mí, pero sus palabras incrédulas me hicieron más fuerte). A esas personas quiero agradecer y dedicar este título...

A MI CREADOR, quién me deposita todos los días 86,400 segundos en el banco de mi vida, para gastarlos en crear ilusiones, sueños, alegrías y compartirlos con quienes amo...mi familia y mis amigos. Y aunque a veces haga malas inversiones (derrotas, fracasos y tristezas) su depósito a primera hora nunca me ha faltado hasta hoy. (TODO SE LO DEBO A ÉL...) ¡TE AMO!

A MI MADRE, María Concepción Flamenco, mi mejor amiga y quién siempre me recuerda..."si haces algo mal, trata de hacerlo otra vez pero no lo hagas de la misma manera" y en quién pude encontrar la **Disciplina y la Constancia**.

A MI PADRE, Ricardo Ernesto Flores, junto a él aprendí a **Soñar y Creer** en grande, y quien me enseñó la importancia del **Carácter** para lograr los objetivos.

A MIS HERMANAS, Flor de María Flores, quién me ha regalado lecciones de **Paciencia y Tolerancia**, herramientas esenciales en esta carrera de la vida y a **Melissa Levina Flamenco**, por **Impulsar** mi sueño y hacerlo parte de su sueño también.

A MI SOBRINO, **Ricardo Alexander García**, quién alegra mis mañanas y me regala la **Fuerza** necesaria para iniciar cada día. ¡Te amo negro!

A MIS ABUELOS, **Mario Flores y Leonor Ramírez** (en mi mente y en mi corazón... ¡siempre!), en quienes aprendí que la **Humildad** cabe en todas partes, aún cuando la puerta sea estrecha, y que el lazo que puede sostener cualquier contrapeso es el **Amor**.

A MI FAMILIA “**Los Locos Adams**” (mis tías y primos), por inculcarme el valor de la **Unidad**, y enseñarme que de vez en cuando una dosis de locura al día no cae nada mal.

A MIS COMPAÑEROS, amigos y más que eso, mis hermanos...**Mer Baños, Elder Santos y Lisandra Soriano**, por correr junto a mí y brindarme su mano cada vez que lo necesite, gracias por su tiempo, su amistad y su ayuda...”Todos somos buenos, pero no tan buenos como todos juntos” ¡Prohibido olvidar!

A MIS AMIGOS: **Diana Ayala, Nadita Ramírez, Ruth y Xiomara Aguilar, Vicky Reyes, Norma Rodríguez, Cely Santos, Víctor Colocho, Luis Escobar, Jorge López, Stanley Grijalva (Jai), Ginelly López, Fran (Harry Potter), Víctor León, Mauricio Cornejo, Alfredo Flores, Bea Montoya, Eunice Campos, Alvarito, Carla Galdámez, Arturo Chinchilla, Godo Bardales, Chambita Velásquez, Jorge Chicas, Miguel Balcáceres, Breyen Hernández, Luis Lemus, Adán Rivera, Marlon Sánchez, Erick Paíz, Elder Avelar, Cesar Siete, Robinson Guevara, Dionisio Ramírez, Ingrid Alfaro** (perdón si olvidé a alguien), por enseñarme el valor de la amistad, la solidaridad, el cariño y por regalarme de sus pequeños momentos que serán recuerdos inolvidables en la historia de mi vida... “mejores son dos que uno; porque tienen mejor paga de su trabajo. Porque si cayeren, el uno levantará a su compañero; pero ¡ay del solo! que cuando cayere no habrá segundo que lo levante. **Eclesiastés 3:9-10**

DE MANERA ESPECIAL AGRADEZCO A MIS PROFESORES: **Alba de Madrid, Sra. De Bonilla, Mayra Rodríguez, Sra. De Palacios** (Educación básica), **Ing. Manuelito Gutiérrez**, gracias por sus bromas que me alegraban el día y por compartir sus valiosos conocimientos, a **Ing. Evelio López e Ingra. Lesly Mendoza** por su apoyo, amistad y cariño.

¡Estoy lista para la siguiente Competencia! ... ¡... y Él viene conmigo!

Tatiana Flores

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO:

Por darme la vida y la sabiduría para culminar una de mis metas. Gracias señor porque nunca me has desamparado, has estado conmigo en los momentos más difíciles de mi existencia, me ha guiado y protegido durante estos años de estudio y principalmente, ha sido Él quien me ha brindado la sabiduría para conducirme por la vida.

A MI MADRE:

Rosa Elba Fabián, Por darme el regalo más precioso que es la vida, y haberme guiado por el buen camino, por su inapreciable e incondicional apoyo en todos los momentos de mi vida. Soy lo que soy por ti, te agradezco todos los momentos buenos y malos que pasaste conmigo en toda mi lucha por lograr este esfuerzo que tanto te ha costado.

A MI PADRE:

Elías Santos, por haber creído siempre en que llegaría a alcanzar mis metas.

A MIS HERMANOS:

Karina Santos, Will Fredy Santos y esposa **Silvia Fabián, Thelma Santos, Marlon Santos, Elmer Santos, Patricia Santos**; por su ayuda y por el apoyo que siempre encuentre cuando lo necesite. Este triunfo también les pertenece.

A MIS SOBRINOS:

Krissia Santos, Luis Enrique Navas, Manuel Alfonso Martínez, Wendy Patricia Martínez, Jonathan Ricardo Martínez, Pablo Sebastián Santos, Dessire Santos, Glenda Sujey Pérez; como una muestra de mi amor y cariño a cada uno de ellos por brindarme momentos de alegría.

A MIS ABUELOS:

Roberto de Jesús Fabián y Evangelina Hernández. Por su amor, apoyo y sabios consejos que me han ayudado mucho a lo largo de mi vida.

A MIS TIOS:

Douglas Vladimir Fabián, Jorge Alberto Fabián y esposa **Gloria, Reina Isabel Fabián**, que pusieron su granito de arena, pero que fue de gran ayuda para poder llegar a mi objetivo propuesto.

A MI PADRINO Y SU FAMILIA:

Lic. Juan Antonio Maldonado, su esposa **Ester Ramos** y su madre **Evangelina Cardoza**; por haberme brindado su hospitalidad durante gran parte de mi carrera, por todo el buen trato que recibí de ustedes y su confianza hacia mi persona.

A MIS COMPAÑERAS DE TESIS:

Merlín Baños y **Tatiana Flores**, Por lo que logramos juntos y sobre todo por la gran amistad que nos une y habernos entendido en momentos críticos y tensos. Por todos los momentos divertidos que pasamos juntos.

A MIS AMIGOS:

Lisandra Soriano, Marlon Ebiezer, Adán Rivera, Daniela Mancuso, Ivi Eneida, Beatriz Montoya (Toñita), Jeni Melgar, Diana Martínez, Heidi Menjivar, Mayra Lovato, Ligia López, Marvin, Cesar Siete, Luis Lemus, Ismael Santa cruz, Guille, Chamba, Godo, Dionisio, Erick Paiz, Alfredo Flores, Humberto Cuellar, Álvaro Santamaría, Sonia Eunice, Tania Maltez, Carla Galdámez, Arturo Chinchilla, Ginely Lopez, Mauricio Cornejo, Felipe Balcaceres, Breyen, Victor, Ingird Alfaro, Elder Santos (primo), y todas aquellas personas que estuvieron conmigo de una u otra forma, me apoyaron y ayudaron de manera desinteresada a la obtención de este triunfo.

A ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

De manera muy especial, por el tiempo, apoyo, orientación y dedicación brindada a lo largo de este trabajo, gracias por su esfuerzo y amistad.

Elder Iván Santos

ÍNDICE

RESUMEN	XXXIII
----------------------	--------

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1	INTRODUCCIÓN	2
1.2	ANTECEDENTES	3
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.4	OBJETIVOS	7
	1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
	1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.5	ALCANCES	10
1.6	LIMITACIONES	13
1.7	JUSTIFICACIÓN	14

CAPÍTULO II: CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

2.1	INTRODUCCIÓN	17
2.2	HISTORIA DEL CCR EN EL SALVADOR	18
	2.2.1 PROYECTO SAN MARTÍN – SAN RAFAEL CEDROS.....	18
	2.2.2 PROYECTO PRESA EL CHAPARRAL, SAN MIGUEL.....	22
	2.2.3 PROYECTO DESVÍO LOS CÓBANOS – SANTA RITA.....	25
	2.2.4 OTROS PROYECTOS.....	25
2.3	GENERALIDADES DEL CCR	26
	2.3.1 DEFINICIÓN.....	26

2.3.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CCR EN PAVIMENTOS.....	29
2.3.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CCR EN PRESAS.....	32
2.3.4	APLICACIONES DEL CCR.....	35
2.3.4.1	PAVIMENTOS.....	35
2.3.4.2	PRESAS.....	41
2.3.4.3	OTROS USOS DEL CCR.....	44
2.3.5	CONTROL DE CALIDAD DEL CCR EN PAVIMENTOS	46
2.4	COMPONENTES DEL CCR.....	48
2.4.1	CEMENTO.....	49
2.4.1.1	DEFINICIÓN.....	49
2.4.1.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE CEMENTOS USADOS EN CCR.....	51
2.4.1.3	ELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO.....	53
2.4.1.4	CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL CEMENTO.....	54
2.4.1.5	USO DE PUZOLANAS.....	57
2.4.1.6	USO DE CENIZAS VOLANTES.....	59
2.4.1.7	CEMENTOS Y PUZOLANAS UTILIZADAS EN PAVIMENTOS PARA CARRETERAS.....	59
2.4.1.8	CEMENTOS Y PUZOLANAS UTILIZADAS EN PRESAS.....	60
2.4.2	AGREGADOS.....	61
2.4.2.1	GENERALIDADES.....	61
2.4.2.2	CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS.....	63
2.4.2.3	AGREGADO FINO.....	63
2.4.2.4	AGREGADO GRUESO.....	64
2.4.2.5	FINOS.....	65

2.4.2.6	FUNCIONES DE LOS AGREGADOS EN EL CCR.....	66
2.4.2.7	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	67
2.4.2.8	TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN PAVIMENTOS.....	69
2.4.2.9	TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN PRESAS.....	70
2.4.2.10	PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS.....	70
	A. REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE.....	70
	B. REACCIÓN ÁLCALI-CARBONATO.....	71
2.4.3	AGUA.....	72
2.4.4	ADITIVOS QUÍMICOS.....	73
2.5	PROPIEDADES DEL CCR.....	75
2.5.1	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO....	75
2.5.1.1	GENERALIDADES.....	75
2.5.1.2	CONSISTENCIA.....	77
	A. TRABAJABILIDAD.....	78
	B. MÉTODOS PARA MEDIR LA CONSISTENCIA.....	79
2.5.1.3	MEZCLADO DE CONCRETO DE CONSISTENCIA SECA.....	84
2.5.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	86
2.5.2.1	GENERALIDADES.....	86
2.5.2.2	RESISTENCIA.....	89
	A. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	89
	B. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	92

2.5.2.3	PROPIEDADES ELÁSTICAS.....	94
	A. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	94
	B. RELACIÓN DE POISSON.....	96
2.5.2.4	PROPIEDADES TÉRMICAS.....	97
2.5.2.5	CAMBIOS DE VOLUMEN.....	97
	A. CONTRACCIÓN POR SECADO.....	97
	B. CAMBIO DE VOLUMEN AUTÓGENO....	98
2.5.2.6	PERMEABILIDAD.....	98
2.5.2.7	DURABILIDAD.....	100
	A. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y EROSIÓN.....	100
	B. RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO.....	101
2.5.2.8	PESO UNITARIO.....	102
2.5.2.9	COMPORTAMIENTO FRENTE A LA FATIGA...	102
2.6	PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR.....	103
2.6.1	GENERALIDADES.....	103
2.6.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	103
2.6.3	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR.....	106
2.6.4	MÉTODO 1: PROCEDIMIENTO PARA PROPORCIONAR CCR PARA CUMPLIR CON LOS LÍMITES ESPECIFICADOS DE CONSISTENCIA.....	107
2.6.4.1	CONTENIDO DE AGUA.....	108
2.6.4.2	CONTENIDO DE MATERIAL CEMENTANTE...	110
2.6.4.3	CONTENIDO DE FINOS.....	112
2.6.4.4	CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.....	112
2.6.4.5	PASOS PARA PROPORCIONAMIENTO.....	113

2.6.4.6	EJEMPLO: PROPORCIONAMIENTO DE CCR PARA CUMPLIR CON LOS LÍMITES ESPECIFICADOS DE CONSISTENCIA.....	128
2.6.5	MÉTODO 2: PROPORCIONAMIENTO USANDO LOS CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	133
2.6.5.1	GENERALIDADES.....	133
2.6.5.2	CONTENIDO DE MATERIAL CEMENTANTE...	135
2.6.5.3	CONTENIDO DE AGREGADO FINO Y GRUESO.....	135
2.6.5.4	CONTENIDO DE AGUA.....	136
2.6.5.5	PASOS PARA PROPORCIONAMIENTO.....	138
2.6.5.6	EJEMPLO: UTILIZANDO LOS CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	140

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA PARA EL TRABAJO EN LABORATORIO

3.1	INTRODUCCIÓN.....	148
3.2	ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR....	149
3.3	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	152
3.3.1	ETAPA I: SELECCIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR.....	155
3.3.1.1	AGREGADOS.....	155
3.3.1.2	CEMENTO.....	162
3.3.1.3	AGUA.....	163
3.3.2	ETAPA II: PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS PARA MEZCLA.....	165
3.3.2.1	MUESTREO DE AGREGADOS BAJO ASTM D75.....	166
3.3.2.2	REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE	

	AGREGADOS A TAMAÑO DE ENSAYO BAJO ASTM C 702.....	168
3.3.2.3	ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO Y FINO BAJO ASTM C 136.....	170
3.3.2.4	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN BAJO ASTM C 127 Y ASTM C 128	171
3.3.2.5	CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO ASTM C566.....	172
3.3.2.6	PESO VOLUMÉTRICO BAJO ASTM C 29.....	173
3.3.3	ETAPA III: DISEÑO DE LA MEZCLA SEGÚN ACI 211.3 ...	174
3.3.4	ETAPA IV: ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CCR.....	178
3.3.5	ETAPA V: ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO.....	179
3.3.5.1	ENSAYO DE CONSISTENCIA.....	180
3.3.5.2	ENSAYO DE TEMPERATURA.....	189
3.3.5.3	ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO DE CONCRETO.....	190
3.3.6	ETAPA VI: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	191
3.3.6.1	MOLDEO DE CILINDROS UTILIZANDO EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR.....	194
3.3.6.2	MOLDEO DE CILINDROS UTILIZANDO LA MESA VIBRATORIA.....	198
3.3.6.3	CURADO DE ESPECÍMENES DE CCR.....	205
3.3.6.4	SIMBOLOGÍA PARA ESPECÍMENES DE CCR...	206
3.3.7	ETAPA VII: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.....	209
3.3.7.1	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BAJO ASTM C 39.....	209
3.3.7.2	ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON BAJO	

	ASTM C 469.....	214
3.3.7.3	ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO BAJO ASTM C 597..	219
3.3.8	ETAPA VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	223

CAPÍTULO IV:

DISEÑO DE MEZCLA DE CCR SEGÚN ACI 211.3 EN LABORATORIO

4.1	INTRODUCCIÓN.....	225
4.2	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA.....	226
4.3	CÁLCULO DE DISEÑO DE MEZCLA.....	236
4.3.1	PASO 1: SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA.....	239
4.3.2	PASO 2: SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.....	240
4.3.3	PASO 3: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.....	240
4.3.4	PASO 4: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	242
4.3.5	PASO 5: CÁLCULO DE LA CANTIDAD APROXIMADA DE AGUA DE MEZCLA.....	244
4.3.6	PASO 6: CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MATERIAL CEMENTICIO.....	246
4.3.7	PASO 7: SELECCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO.....	246
4.3.8	PASO 8: CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGREGADO FINO.....	249

4.3.9	PASO 9: CORRECCIONES POR HUMEDAD.....	251
4.3.9.1	CÁLCULO DE AJUSTE POR HUMEDAD DE AGREGADOS.....	252
4.4	REPRODUCCIÓN DE LAS MEZCLA DE PRUEBA.....	255
4.4.1	CÁLCULO DE VOLUMEN PARA MEZCLA DE PRUEBA...	255
4.4.2	PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA.....	257
4.4.3	SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA.....	262
4.4.4	TERCERA MEZCLA DE PRUEBA.....	266
4.4.5	AJUSTES DE LA MEZCLA DEFINITIVA.....	271

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1	INTRODUCCIÓN.....	280
5.2	RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CCR.....	281
5.2.1	AGREGADO GRUESO Y FINO.....	281
5.2.2	CEMENTO.....	283
5.2.3	AGUA.....	284
5.3	PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	284
5.3.1	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSISTENCIA.....	285
5.3.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA.....	288
5.3.3	RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO.....	291
5.3.4	RESULTADOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS EN ESTADO FRESCO.....	296
5.3.5	ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	304

5.4	PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	308
5.4.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	308
5.4.2	ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN EL CONCRETO.....	311
5.4.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO.....	315
5.4.4	RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO..	317
5.4.5	ANÁLISIS DE TIPO DE FALLA.....	326
5.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	328
5.5.1	ANÁLISIS DE DATOS DE RESISTENCIA.....	329
5.6	CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS.....	368
5.6.1	CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA QUE TIENE CADA MÉTODO DE LLENADO DE CILINDROS EN LABORATORIO CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	368
5.6.2	CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA CEMENTO SEGÚN LAS DOS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	372
5.6.3	CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO.....	375
5.6.4	CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO, PARA AMBOS MÉTODOS DE LLENADO DE CILINDROS.....	380

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	INTRODUCCIÓN	386
6.2	CONCLUSIONES	387
6.2.1	GENERALES.....	387
6.2.2	CALIDAD DE LOS MATERIALES Y PROPIEDADES.....	388
6.2.3	ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.....	389
6.2.4	ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	391
6.2.5	ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO...	392
6.2.6	CORRELACIONES.....	393
6.2.6.1	CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA QUE TIENE CADA MÉTODO DE LLENADO DE CILINDROS EN LABORATORIO CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	393
6.2.6.2	CORRELACIÓN ENTRE LA RESISITENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA CEMENTO SEGÚN LAS DOS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	395
6.2.6.3	CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO, PARA AMBOS MÉTODOS DE LLENADO DE CILINDROS.....	396
6.2.6.4	CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO.....	397
6.3	RECOMENDACIONES	398
6.3.1	GENERALES.....	398
6.3.2	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	399
6.3.3	DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CCR.....	399

6.3.4	ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CCR.....	400
6.3.5	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	401
	GLOSARIO.....	402
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	410

ANEXOS

ANEXO A:	CARTA DE CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DEL CEMENTO TIPO HE ASTM C 1157.....	420
ANEXO B:	TABLA PARA DISEÑO DE MEZCLAS.....	423
ANEXO C:	PROGRAMACIÓN DE TRABAJO EN LABORATORIO ISCYC.....	425
ANEXO D:	PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CCR UTILIZADAS EN LABORATORIO.....	427
ANEXO E:	RESULTADOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	440
ANEXO F:	RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD, ELABORADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 1435.....	455
ANEXO G:	RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD, ELABORADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 1176.....	462
ANEXO H:	RESULTADOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD, ELABORADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 1176.....	469
ANEXO I:	RESULTADOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD, ELABORADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 1435.....	473

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

TABLA N° 2.1:	TIPOS DE CEMENTOS POR RENDIMIENTO ASTM C-1157	51
TABLA N° 2.2:	REQUERIMIENTOS FÍSICOS DEL CEMENTO TIPO HE	52
TABLA N° 2.3:	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LOS LÍMITES GRANULOMÉTRICOS	63
TABLA N° 2.4:	IMPUREZAS PERMISIBLES EN EL AGUA.	72
TABLA N° 2.5:	COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.	81
TABLA N° 2.6:	DESCRIPCIÓN DE TRABAJABILIDAD Y FACTOR DE COMPACTACIÓN	83
TABLA N° 2.7:	MEDIDAS DE CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTO EN EL APARATO DE VEBE	84
TABLA N° 2.8:	RESISTENCIAS TÍPICAS A LA COMPRESIÓN DE CCR	91
TABLA N° 2.9:	RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN Y TENSIÓN DE PROYECTOS DE CCR	94
TABLA N° 2.10:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE ALGUNAS MEZCLAS CCR EN LABORATORIO	95

TABLA N° 2.11:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RELACIÓN DE POISSON DE ALGUNAS MEZCLAS DE CCR EN LABORATORIO	96
TABLA N° 2.12:	VOLÚMENES ABSOLUTOS RECOMENDADOS DE AGREGADOS GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CCR	113
TABLA N° 2.13:	COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.	114
TABLA N° 2.14:	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTANDAR DE LA MUESTRA	115
TABLA N° 2.15:	FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 ENSAYES.	117
TABLA N° 2.16:	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA	117
TABLA N° 2.17:	VALORES DE “t” SEGÚN ACI 214R-02.	120
TABLA N° 2.18:	RELACIONES ENTRE AGUA-MATERIAL CEMENTANTE Y EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO	124
TABLA N° 2.19:	REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.	126

TABLA N° 2.20:	(A) VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD VOLUMEN DE CONCRETO DE CONSISTENCIA PLÁSTICA	127
TABLA N° 2.20:	B) VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS	127
TABLA N° 2.21:	PROPORCION DE LOS MATERIALES PARA 1 m³	133
TABLA N° 2.22:	LÍMITES RECOMENDADOS PARA COMBINACIONES DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS PARA PAVIMENTOS DE CCR	136
TABLA N° 2.23:	PROPORCION DE LOS MATERIALES PARA 1 m³.....	146

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA PARA EL TRABAJO EN LABORATORIO

TABLA N° 3.1:	REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN PARA AGREGADO GRUESO	156
TABLA N° 3.2:	REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN PARA AGREGADO FINO	157
TABLA N° 3.3:	REQUERIMIENTOS DE DESEMPEÑO DEL CONCRETO PARA EL AGUA DE MEZCLADO	164
TABLA N° 3.4:	LÍMITES QUÍMICOS OPCIONALES PARA EL AGUA DE MEZCLADO	165
TABLA N° 3.5:	ENSAYOS A REALIZAR A LOS AGREGADOS	166
TABLA N° 3.6:	ENSAYOS DE LOS AGREGADOS PARA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD, (NO SE	

	REALIZARÁN)	166
TABLA N° 3.7:	PARÁMETROS DE DISEÑO	175
TABLA N° 3.8:	CANTIDAD DE CILINDROS POR ENSAYO Y EDAD .	177
TABLA N° 3.9:	SIGNIFICADO DE CADA PARTE DEL CONSISTÓMETRO VEBE	182
TABLA N° 3.10:	TOLERANCIAS PERMISIBLES SEGÚN EDAD DE ENSAYO	210

CAPÍTULO IV:

DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR SEGÚN COMITÉ ACI 211.3

TABLA N° 4.1:	ENSAYOS A REALIZAR A LOS MATERIALES	226
TABLA N° 4.2:	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS MATERIALES	227
TABLA N° 4.3:	RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO	228
TABLA N° 4.4:	RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (AGREGADO FINO)	230
TABLA N° 4.5:	RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE AGRE- GADO GRUESO	231
TABLA N° 4.6:	RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (AGREGADO GRUESO)	233
TABLA N° 4.7:	RESULTADOS DE PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO (AGREGADO GRUESO)	234
TABLA N° 4.8:	RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL CEMENTO	235

TABLA N° 4.9:	PARÁMETROS DE DISEÑO	238
TABLA N° 4.10:	RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS MATERIALES	238
TABLA N° 4.11:	COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.....	239
TABLA N° 4.12:	RELACIONES ENTRE AGUA-MATERIAL CEMENTANTE Y EL ESFUERZO DE COMPRESION DEL CONCRETO	243
TABLA N° 4.13:	REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS DE AGREGADOS	245
TABLA N° 4.14:	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO DE CONSISTENCIA PLÁSTICA	247
TABLA N° 4.15:	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS	248
TABLA N° 4.16:	PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR	251
TABLA N° 4.17:	HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS DETERMINADAS EN LABORATORIO	252
TABLA N° 4.18:	PROPORCIONES DE LA MEZCLA CORREGIDA POR HUMEDAD PARA 1 m³	255
TABLA N° 4.19:	PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE ENSAYO.....	257
TABLA N° 4.20:	PRIMER CALCULO DEL PROPORCIONAMIENTO ...	258
TABLA N° 4.21:	PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA	

	UN METRO CÚBICO DE CCR	259
TABLA N° 4.22:	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL PRIMER DISEÑO	260
TABLA N° 4.23:	PROPORCIONAMIENTO PARA SEGUNDO DISEÑO DE PRUEBA	263
TABLA N° 4.24:	PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR, UTILIZADO EN LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA	264
TABLA N° 4.25:	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL SEGUNDO DISEÑO	265
TABLA N° 4.26:	PROPORCIONAMIENTO PARA TERCER DISEÑO DE PRUEBA	268
TABLA N° 4.27:	PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR UTILIZADO EN LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA	269
TABLA N° 4.28:	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL TERCER DISEÑO	270
TABLA N° 4.29:	RESISTENCIA A LA COMPRESION A 7 Y 28 DIAS DE LA MEZCLA DE PRUEBA	271
TABLA N° 4.30:	PROPORCIONAMIENTO TEORICO PARA UN METRO CÚBICO	272
TABLA N° 4.31:	DATOS DE LOS AGREGADOS	272
TABLA N° 4.32:	CANTIDADES PARA UNA MEZCLA DE LABORATORIO EN CONDICION HÚMEDA	274
TABLA N° 4.33:	PESOS DE CILINDROS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO	275
TABLA N° 4.34:	RESUMEN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CCR	277
TABLA N° 4.35:	PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA	

LA MEZCLA DEFINITIVA PARA UN METRO CUBICO DE CCR	278
---	------------

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

TABLA N° 5.1: RESULTADOS DE ENSAYO DE CONSISTENCIA.....	287
TABLA N° 5.2: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA	289
TABLA N° 5.3: RESUMEN DE LA PRUEBA DE TIEMPO DE FRAGUADO	292
TABLA N° 5.4: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TIEMPOS DE FRAGUADO	293
TABLA N° 5.5: RESUMEN DE RESISTENCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS OBTENIDAS POR LOS DOS METODOS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN A/C = 0.48.....	310
TABLA N° 5.6: RESUMEN DE RESISTENCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS OBTENIDAS POR LOS DOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACION A/C = 0.47	311
TABLA N° 5.7: RESULTADOS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON A DIFERENTES EDADES ..	313
TABLA N° 5.8: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON A DIFERENTES EDADES.....	313
TABLA N° 5.9: RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO	317
TABLA N° 5.10: RESUMEN DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS DEL	

	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	318
TABLA N° 5.11:	TIPOS DE FALLAS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	326
TABLA N° 5.12:	CANTIDAD DE CILINDROS ENSAYADOS A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BAJO NORMA ASTM C 39	331
TABLA N° 5.13:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.47	333
TABLA N° 5.14:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS, RELACION A/C = 0.47	334
TABLA N° 5.15:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.47	335
TABLA N° 5.16:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.48	336
TABLA N° 5.17:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.48	337
TABLA N° 5.18:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS, RELACIÓN	

	A/C = 0.48	339
TABLA N° 5.19:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.46	342
TABLA N° 5.20:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.47	343
TABLA N° 5.21:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESION A LA EDAD DE 28 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.47	344
TABLA N° 5.22:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.47	345
TABLA N° 5.23:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.48	346
TABLA N° 5.24:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.48	347
TABLA N° 5.25:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS, RELACIÓN A/C = 0.48	349
TABLA N° 5.26:	CILINDROS ELABORADOS CON EL MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESION A LA EDAD DE 28 DIAS, RELACION A/C = 0.46	352
TABLA N° 5.27:	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR MÉTODO DE ELABORACION PARA A/C DE	

	0.47	364
TABLA N° 5.28:	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR METODO DE ELABORACION PARA A/C DE 0.48	365
TABLA N° 5.29:	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR METODO DE ELABORACION PARA A/C = 0.46	365
TABLA N° 5.30:	PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE AMBOS MÉTODOS DE MOLDEO DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0.47	369
TABLA N° 5.31:	PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE LOS DOS MÉTODOS PARA UNA RELACIÓN A/C DE 0.48	371
TABLA N° 5.32:	RESUMEN DE LOS PROMEDIOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR MÉTODO DE MOLDEO Y PARA CADA RELACIÓN A/C OBTENIDA	374
TABLA N° 5.33:	MÓDULOS DE ELASTICIDAD DINÁMICO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	376
TABLA N° 5.34:	MÓDULOS ESTÁTICOS TEÓRICOS Y DE LABORATORIO	381

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II:

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

FIGURA N° 2.1:	PLANTA DOSIFICADORA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA PARA CCR	20
FIGURA N° 2.2:	PAVIMENTADORA TITÁN 325 EPM UTILIZADA EN EL PROYECTO	22
FIGURA N° 2.3:	PRESA EL CHAPARRAL: SIMULACIÓN Y AVANCE DE CONSTRUCCIÓN.....	23
FIGURA N° 2.4:	TRAMO DE PRUEBA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR	24
FIGURA N° 2.5:	CALLE SANTA RITA, CHALATENANGO.....	25
FIGURA N° 2.6:	TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CCR. MÁQUINA PARA MEZCLA ASFÁLTICA	40
FIGURA N° 2.7:	TREN DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN.....	41
FIGURA N° 2.8:	COMPONENTES DEL CCR	49
FIGURA N° 2.9:	COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CEMENTO UTILIZADO Y EL CEMENTO TIPO HE BAJO NORMA ASTM C-1157 ...	53
FIGURA N° 2.10:	FACTOR DE COMPACTACIÓN	80
FIGURA N° 2.11:	APARATO VEBE	82
FIGURA N° 2.12:	(a) CURVAS DE RESISTENCIA CCR QUE PUEDEN SER DESARROLLADAS CON VARIAS PROPORCIONES DE CEMENTO PARA AGREGADOS DE BUENA	

	CALIDAD. (b) CURVAS DE RESISTENCIA DE CCR DESARROLLADAS CON AGREGADOS DE MENOR CALIDAD	93
FIGURA N° 2.13:	DOSIFICACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO VEBE MODIFICADO	107
FIGURA N° 2.14:	RELACIÓN ENTRE UNIDAD DE CONTENIDO DE AGUA Y ESFUERZO COMPRESIVO DE UNA MASA DE CONCRETO	109
FIGURA N° 2.15:	CURVAS DE PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO RESISTENCIAS IGUALES. ESTAS DETERMINACIONES ESTÁN BASADAS SOBRE EL MORTERO REQUERIDO POR UNIDAD DE VOLUMEN CCR	111
FIGURA N° 2.16:	RELACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f_{cr} A RESISTENCIA ESPECIFICA f_c DE DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y LAS PROBABILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA	121
FIGURA N° 2.17:	EXCESO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA, f_{cr}, CON RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPECIFICA, f_c, PARA VARIAS DESVIACIONES ESTÁNDAR Y POSIBILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.....	123
FIGURA N° 2.18:	EQUIPO PARA ENSAYO ASTM D 1557 (PROCTOR MODIFICADO)	134
FIGURA N° 2.19:	RELACIÓN TÍPICO DE HUMEDAD-DENSIDAD SECA	137

CAPÍTULO III:
METODOLOGÍA PARA EL TRABAJO EN LABORATORIO

FIGURA N° 3.1:	PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE LABORATORIO.....	150
FIGURA N° 3.2:	CURVA TÍPICA DE GRANULOMETRÍA PARA PAVIMENTOS DE CCR	157
FIGURA N° 3.3:	ACOPIO DE MATERIALES	158
FIGURA N° 3.4:	MUESTREO DE AGREGADOS DE UN APILAMIENTO	168
FIGURA N° 3.5:	CUARTEADOR DE AGREGADO GRUESO	169
FIGURA N° 3.6:	TAMIZADOR MECÁNICO UTILIZADO PARA ARENAS	170
FIGURA N° 3.7:	EQUIPO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS	172
FIGURA N° 3.8:	DETERMINADOR DE HUMEDADES ELECTRÓNICO MB45	173
FIGURA N° 3.9:	MÁQUINA CONCRETERA	179
FIGURA N° 3.10:	PARTES DEL CONSISTÓMETRO VEBE	181
FIGURA N° 3.11:	COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA MEDIR SU CONSISTENCIA	186
FIGURA N° 3.12:	COLOCACIÓN DE SOBRECARGA	187
FIGURA N° 3.13:	FORMACIÓN DEL ANILLO DE MORTERO	188
FIGURA N° 3.14:	EQUIPO PARA ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO	191
FIGURA N° 3.15:	METODOLOGIA DE ELABORACIÓN DE PROBE-	

	TAS CILÍNDRICAS	193
FIGURA N° 3.16:	MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (HILTI)	194
FIGURA N° 3.17:	MOLDEO DE LA ÚLTIMA CAPA UTILIZANDO EL MARTILLO	197
FIGURA N° 3.18:	MESA VIBRATORIA (PREPARACIÓN DE CILIN- DRO)	199
FIGURA N° 3.19:	CENTRADO DE LA SOBRECARGA EN EL MOLDE.	201
FIGURA N° 3.20:	CONSOLIDACIÓN DE PRIMERA CAPA	203
FIGURA N° 3.21:	LLENADO DEL MOLDE PARA LA SEGUNDA Y TERCERA CAPA	204
FIGURA N° 3.22:	RETIRADO DEL ESPÉCIMEN DE MESA VIBRA- TORIA Y REALIZACIÓN DE ACABADO EN LA SUPERFICIE SUPERIOR	205
FIGURA N° 3.23:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA CURADO DE ESPECÍMENES DE CCR	206
FIGURA N° 3.24:	ESQUEMAS PARA LA SIMBOLIZACIÓN DE LOS ESPECÍMENES	208
FIGURA N° 3.25:	PATRONES DE FRACTURA TÍPICOS	213
FIGURA N° 3.26:	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON	214
FIGURA N° 3.27:	EQUIPO INSTALADO EN LA PROBETA DE PRUEBA	216
FIGURA N° 3.28:	ESQUEMA DEL EQUIPO DE VELOCIDAD DE PULSO	221

CAPÍTULO IV:
**DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR SEGÚN ACI 211.3 EN
 LABORATORIO**

FIGURA N° 4.1:	CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 33	229
FIGURA N° 4.2:	CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN ASTM C 33, GRAVA N° 67	232
FIGURA N° 4.3:	RELACION DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f_{cr} A RESISTENCIA ESPECIFICA f_c DE DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y LAS PROBABILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA	242
FIGURA N° 4.4:	PORCENTAJE EN PESO Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR PARA LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA	259
FIGURA N° 4.5:	CILINDROS ELABORADOS DE LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA	261
FIGURA N° 4.6:	PORCENTAJE DE PROPORCIONES EN PESO Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR UTILIZADOS EN LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA	264
FIGURA N° 4.7:	PORCENTAJE DE PROPORCIONES EN PESO Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR UTILIZADOS EN LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA	269

FIGURA N° 4.8:	PORCENTAJE DE PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ÓPTIMA A REPRODUCIR EN LABORATORIO PARA UN METRO CÚBICO DE CCR	278
----------------	--	------------

CAPÍTULO V:
ANÁLISIS DE RESULTADOS

FIGURA N° 5.1:	REVENIMIENTO CERO EN LA MEZCLA DE CCR ...	286
FIGURA N° 5.2:	TEMPERATURAS POR BACHADA	290
FIGURA N° 5.3:	GRÁFICA TIEMPO-ESFUERZO DE LOS RESULTADOS DE TIEMPOS DE FRAGUADO	294
FIGURA N° 5.4:	TIEMPOS DE FRAGUADO GRAFICADOS EN PAPEL LOG-LOG	295
FIGURA N° 5.5:	PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.46	298
FIGURA N° 5.6:	PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.46	299
FIGURA N° 5.7:	PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS COM EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.47	300
FIGURA N° 5.8:	PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS COM LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.47	301
FIGURA N° 5.9:	PESO VOLUMÉTRICO EM ESTADO FRESCO DE	

	CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.48	302
FIGURA N° 5.10:	PESO VOLUMÉTRICO EM ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.48.....	303
FIGURA N° 5.11:	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES POR AMBOS MÉTODOS	305
FIGURA N° 5.12:	EQUIPO DE LA MESA VIBRATORIA	306
FIGURA N° 5.13:	MOLDE CILÍNDRICO EN LA MESA VIBRATORIA, DESENMOLDADO PARA COLOCARLE SU PLACA BASE.....	307
FIGURA N° 5.14:	LLENADO DE MOLDE CILÍNDRICO CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR, CON SU PLACA BASE RESPECTIVA	308
FIGURA N° 5.15:	LLENADO DE CILINDROS POR AMBOS MÉTODOS EN ESTUDIO	319
FIGURA N° 5.16:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.46	320
FIGURA N° 5.17:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.46	321
FIGURA N° 5.18:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	

	A/C = 0.47	322
FIGURA N° 5.19:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.47	323
FIGURA N° 5.20:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.48	324
FIGURA N° 5.21:	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.48	325
FIGURA N° 5.22:	REPRESENTACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE LOS TIPOS DE FALLA	326
FIGURA N° 5.23:	TIPOS DE FALLA EN LOS CILINDROS ENSAYADOS	327
FIGURA N° 5.24:	PATRONES DE FRACTURA TÍPICOS	328
FIGURA N° 5.25:	MUESTRA LAS CARTAS DE CALIDAD (a), (b) Y (c) PARA CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	355
FIGURA N° 5.26:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 7 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y A/C = 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	356
FIGURA N° 5.27:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 7 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y A/C = 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA	357

FIGURA N° 5.28:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 28 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.46, 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	358
FIGURA N° 5.29:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 28 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.46, 0.47 Y 0.48, CILÍNDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA	359
FIGURA N° 5.30:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 56 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	360
FIGURA N° 5.31:	CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 56 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA	361
FIGURA N° 5.32:	GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE AMBOS METODOS DE MOLDEO DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0,47	369
FIGURA N° 5.33:	GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE AMBOS MÉTODOS DE MOLDEO PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0,48 ...	371
FIGURA N° 5.34:	GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS Y LA RELACIÓN A/C	372
FIGURA N° 5.35:	GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS Y LA RELACIÓN A/C	373

FIGURA N° 5.36: GRÁFICO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO PARA EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	377
FIGURA N° 5.37: GRÁFICO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO PARA LA MESA VIBRATORIA	378
FIGURA N° 5.38: COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DINÁMICOS OBTENIDOS CON LOS DOS MÉTODOS PARALELOS	379
FIGURA N° 5.39: GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO UTILIZANDO LA MESA VIBRATORIA	382
FIGURA N° 5.40: GRÁFICA ESFUERZO DEFORMACIÓN UTILIZANDO MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	383
FIGURA N° 5.41: COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS ESTÁTICOS OBTENIDOS CON LOS DOS MÉTODOS PARALELOS	384

RESUMEN

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es aquel concreto que en estado fresco es capaz de soportar un rodillo mientras es compactado; la técnica del CCR no es nueva, durante años se ha utilizado en muchos lugares y existen numerosas investigaciones dedicadas al conocimiento de esta técnica como tal; el CCR es probablemente el más importante desarrollo en la tecnología de presas como en la de carreteras en los últimos años, ganando aceptación alrededor del mundo en un relativo corto tiempo debido a su bajo costo, el cual es derivado en parte por su rápido modo de construcción, su bajo contenido de cemento y su condición de asentamiento nulo.

La implementación de esta tecnología para la construcción de presas y posteriormente para la construcción de carreteras, fue tomando importancia cada vez más en el mundo, porque era necesario dar respuesta a las exigencias de diversos sectores. Esto ocasionó, que durante los últimos años en laboratorios de diferentes países se realizara diversidad de investigaciones, con el objeto de identificar las propiedades y potencialidades del CCR.

El presente trabajo de graduación tiene como objeto principal la evaluación y comparación de la resistencia a la compresión de una mezcla de CCR, utilizando en la elaboración de especímenes la Mesa Vibratoria y el Martillo Vibrocompactador, todo esto siguiendo las normas ASTM y los comités ACI relacionados; para posteriormente

realizar una correlación que permita determinar la influencia que tiene cada método de llenado de cilindros en la resistencia a la compresión del concreto.

El trabajo se divide en seis capítulos, que en términos generales describen una investigación que permite organizar la información y diseñar una mezcla de CCR utilizando, el equipo del Consistómetro Vebe; creando así, la base para identificar la variabilidad de la resistencia a la compresión, que tienen el uso de un método u otro para el llenado de cilindros de CCR.

En el primer capítulo se encuentra contempladas las generalidades de la investigación, donde se detallan los antecedentes del CCR, se plantea el enfoque y la justificación de la investigación para posteriormente hacer mención a los objetivos que se pretenden cumplir, así como los alcances y las limitaciones que se tendrán que enfrentar.

Se recolectó amplia información acerca de los principales conceptos teóricos y temas relacionados con el CCR, específicamente del diseño de mezclas que fueron utilizados como base teórica, estos conceptos se encuentran detallados en el capítulo II y III de esta investigación.

En el capítulo IV, se encuentra a detalle los pasos a seguir para el diseño de la mezcla según el comité ACI 211.3 y ejemplos de cómo se debe calcular la proporción, así como

el análisis a los diferentes componentes del concreto, los cuales son necesarios para los diseños preliminares que se realizaron en esta investigación.

El análisis de los resultados de las diferentes pruebas realizadas para esta investigación se expone en el capítulo V, en el contenido de éste se muestran los resultados del análisis a los materiales, los ensayos al concreto fresco y al concreto endurecido.

Se finaliza con el capítulo VI, donde se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas a través del trabajo de investigación desarrollado.

CAPÍTULO I:

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Antes de iniciar una investigación específica, se debe de conocer el punto de partida y al cual se desea llegar con el desarrollo de esta, motivo por el cual en el siguiente capítulo se expone cada uno de esos aspectos que definen la proyección de nuestra investigación.

Los antecedentes del CCR son descritos, de manera que el lector se relacione ampliamente con esta técnica y tenga el conocimiento de la evolución y los estudios realizados alrededor del mundo.

Los objetivos propuestos que se pretenden alcanzar con este estudio, son definidos y expuestos, así como también el alcance de la investigación y las limitaciones que se tendrán en el transcurso del estudio, finalizando con la razón justificable de llevar a cabo este tema como parte de nuestro Trabajo de Graduación.

1.2 ANTECEDENTES

El origen de la técnica del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), se fundamenta desde hace muchos años, la cual se utiliza desde 1865 en Escocia, evolucionando a través del tiempo con relación a equipos, aplicaciones, diseños estructurales y diseños de mezclas de concreto.

Los resultados y las aplicaciones del CCR en diversos países europeos y americanos han sido prácticamente en proyectos hidroeléctricos y patios de carga, siendo la fabricación de equipos adecuados la que permitió ampliar la utilización del CCR en pavimentos, hacia vías de baja intensidad de tráfico y posteriormente hacia vías de mayor importancia y aeropuertos.

Estos proyectos se han llevado a cabo en Europa, en países como: Alemania, Francia, España; también en Australia, Sudáfrica y América, principalmente en Estados Unidos y Canadá.

En pavimentos existen antecedentes que datan del año 1930, cuando en Suecia se llevó a cabo una forma de concreto compactado con rodillo. En EUA en 1942 se llevó a cabo el proyecto carretero en Yakima, Washington, aunque el equipo era rudimentario, según las normas actuales, y el diseño de mezcla y el control tal vez no fueran perfectos, este pavimento ha prestado muy buen servicio. Una fina capa de asfalto se aplicó en 1987 como una operación de mantenimiento para mejorar la serviciabilidad del pavimento,

que aún está en uso con sólo una delgada capa de asfalto agregada durante sus 45 años de servicio.

Sin embargo el mayor uso de CCR para la construcción de pavimentos en países como Canadá y EUA data desde 1980. En América, la primera experiencia formal con CCR en pavimentos, fue en Caycuse, Vancouver, Canadá en 1976, en un pavimento para cargas pesadas y luego se expandió a pavimentos industriales, patios de terminales de carga pesada, áreas de taxeo en aeropuertos, aparcamientos, etc. Tras el éxito de la pavimentación en Caycuse, se construyeron tres patios de carga con CCR en La islas Queen Charlotte frente a las costas de la British Columbia durante 1976 y 1978. El siguiente objetivo en la historia del CCR en Canadá, se produjo cuando se tomó la decisión de construir 19,3 kilómetros de pavimento de CCR con un espesor de 7 pulgadas en un camino de la mina de carbón en el Tumbler Ridge en British Columbia. Mientras estos acontecimientos tenían lugar en Canadá, organizaciones en el Estados Unidos tenían un creciente interés en el CCR, que sería aplicado presas. El uso de CCR para presas medianas y pequeñas continuó en los EE.UU. a lo largo de la década de 1980 y principios de 1990, y se ha ampliado para proyectos mucho más grandes en todo el mundo.

En Costa Rica, las primeras experiencias datan de 1995. Debido a ello, la técnica de CCR se considera relativamente reciente en Centroamérica y su tecnología aun continúa evolucionando.

En El Salvador, el Vice Ministerio de Obras Publicas, llevó a cabo el proyecto II Carretera San Martin – San Rafael Cedros, en el cual se incluyó como parte de la estructura del pavimento, la construcción de una capa de CCR de 20 cm de espesor en un tramo de 14.52 kilómetros de longitud y dos carriles por sentido. Al igual se está desarrollando con este tipo de concreto la Presa el Chaparral en el Departamento de San Miguel, que es una obra de gran envergadura para el país.

A nivel centroamericano y principalmente en El Salvador se han empezado a realizar estudios, con el fin de ampliar el concepto del CCR, instituciones como el Vice Ministerio de Obras Publicas, la Universidad de El Salvador y el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto, han desarrollado estudios en el comportamiento de este tipo de mezclas; el desarrollo que ha tenido el CCR en las últimas décadas es debido a los menores costos de construcción, al desarrollo de equipos de mezclado, transporte y compactación que han permitido un avance significativo en la técnica, resolviendo en gran medida los problemas que presentaban las construcciones pasadas. En la actualidad la técnica del concreto compactado con rodillo aun no se usa de forma generalizada pero a medida que el país se desarrolla y surgen nuevos retos, esta metodología también avanza.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La literatura define el concreto compactado con rodillo como un concreto de consistencia seca, revenimiento cero, que se coloca de forma continua y su compactación se realiza con un rodillo normalmente vibrante. De esta manera el CCR difiere de un concreto convencional en cuanto a consistencia requerida, metodología de diseño y elaboración de especímenes de prueba.

Aunque las muestras de concreto para resistencia a compresión se toman en los moldes tradicionales para este ensayo, se requiere aplicar mayor energía de compactación que la que brinda el apisonado tradicional. De tal manera las normas ASTM (American Society for Testing of Materials) presentan dos prácticas para el llenado de moldes cilíndricos, las cuales son:

1. Practica Estándar para la elaboración de cilindros de Concreto Compactado con Rodillo utilizando la Mesa Vibratoria (ASTM C-1176).
2. Practica Estándar para la elaboración de cilindros de Concreto Compactado con Rodillo utilizando el Martillo Vibrocompactador (ASTM C-1435).

Los estudios y aplicaciones realizadas recientemente en el país muestran la utilización de cada una de las metodologías por separado, lo que no permite obtener suficientes criterios para comparar y evaluar las resistencias obtenidas y de esta manera concluir cual es el más aplicable según sea requerido.

Propiedades importantes del concreto en estado endurecido como la resistencia a la compresión dependen del grado de compactación alcanzado en el moldeo de los especímenes y al existir estas dos metodologías el ingeniero se encuentra con la posibilidad de utilizar cualquiera.

Por tal razón, se plantea la necesidad de desarrollar esta investigación encaminada a determinar la variación que posee la resistencia a la compresión de especímenes de concreto según el método utilizado para el llenado de cilindros, además de evaluar y comparar otras propiedades que son relevantes en la especificación de un concreto, tal como el módulo de elasticidad estático, módulo de elasticidad dinámico, la densidad (propiedades en estado endurecido) y la consistencia, el tiempo de fraguado y la temperatura (propiedades en estado fresco).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar la Resistencia a la Compresión de una mezcla de Concreto Compactado con Rodillo, utilizando en la elaboración de especímenes la Mesa Vibratoria y el Martillo Vibrocompactador, para realizar una correlación que permita determinar la influencia que tiene cada método en la resistencia del concreto.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar los conocimientos teóricos del Concreto Compactado con Rodillo (CCR).
- Establecer la calidad requerida de los materiales que se utilizarán en el diseño de la Mezcla de CCR.
- Diseñar teóricamente una mezcla de CCR con una resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ aplicando los procedimientos de la metodología descrita en el Comité ACI 211.3, utilizando para la dosificación del concreto pruebas de consistencia (Vebe Modificado).
- Evaluar las mezclas teóricas en laboratorio para verificar si cumplen con los requerimientos de diseño y realizar los ajustes requeridos.
- Evaluar la consistencia de la Mezcla de CCR utilizando el equipo Vebe, basado en la Norma ASTM C 1170 (Método de Ensayo estándar para la determinación de la consistencia y densidad de concreto compactado con rodillo usando una mesa vibratoria).

- Determinar la Temperatura y el Tiempo de Fraguado de la mezcla de CCR bajo las Normas ASTM C 1064 (Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado) y ASTM C 403 (Método de prueba estándar para el tiempo de Fraguado del concreto).
- Elaborar especímenes de CCR para el ensayo a la compresión, utilizando las practicas descritas en la ASTM C 1176 (Practica Estándar para la elaboración de de Cilindros de Concreto Compactado con Rodillo utilizando la Mesa Vibratoria) y la ASTM C 1435 (Practica Estándar para la elaboración de cilindros utilizando el Martillo Vibrocompactador).
- Evaluar la resistencia a la compresión de los especímenes en base a la norma de ensayo del concreto ASTM C 39 (Método de ensayo estándar para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto) a la edad de 7, 28 y 56 días.
- Analizar y comparar los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos de los especímenes ensayados con los dos métodos de elaboración de cilindros.
- Realizar una correlación, que permita determinar la influencia que tiene cada método de llenado de cilindros en la resistencia a la compresión de mezclas de CCR.

- Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y Dinámico del CCR endurecido bajo las Normas ASTM C 469 (Método para determinar el Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson's del concreto en compresión) y ASTM C 597 (Método de prueba estándar para la Velocidad de Pulso a través del concreto).
- Realizar correlaciones entre las propiedades mecánicas estudiadas a la mezcla de CCR en estado fresco y endurecido.

1.5 ALCANCES

La investigación se desarrollará siguiendo los procedimientos y lineamientos descritos según el Instituto Americano del Concreto (ACI) , La Sociedad Americana Para Pruebas de Materiales (ASTM) y Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO).

Dicha investigación está encaminada a determinar la resistencia a la compresión de cilindros de CCR, de mezclas de concreto diseñada por los procedimientos que este tipo de concreto de consistencia seca requiere, y que están basados en el ACI 211.3. La dosificación se realizara por medio de análisis de consistencia con el equipo Vebe.

El diseño de mezcla se realizara para resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 , y los tipos de agregados a utilizar procederán de un solo banco de préstamo; el cemento será

el regido por la norma ASTM C 1157 Tipo HE; las condiciones ambientales con las cuales se trabajara serán las locales, que permitan lograr en la mezcla las características requeridas.

Se realizará un análisis de las características del CCR en estado fresco basándose en los ensayos de laboratorio siguientes: determinación de la consistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1170 (Método de Ensayo estándar para la determinación de la consistencia y densidad de concreto compactado con rodillo usando una Mesa Vibratoria), Temperatura de acuerdo a la Norma ASTM C 1064 (Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado), Tiempo de Fraguado del Concreto de acuerdo a la Norma ASTM C 403 (Método de prueba estándar para el tiempo de Fraguado del concreto).

También se realizarán el análisis del concreto en estado endurecido basándose en los siguientes ensayos de laboratorio: Resistencia a la compresión basada en la Norma ASTM C 39 (Método de ensayo estándar para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto), Módulo de Elasticidad Estático basada en la Norma ASTM C 469 (Método para determinar el Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson del concreto en compresión), Velocidad de Pulso basada en la Norma ASTM C 597 (Método de prueba estándar para la Velocidad de Pulso a través del concreto).

En el llenado de los cilindros para el ensayo de resistencia a la compresión se utilizaran dos metodologías, las cuales son: la Mesa Vibratoria según la norma ASTM C-1176 (Practica Estándar para la elaboración de cilindros de Concreto Compactado con Rodillo

utilizando la Mesa Vibratoria) y el Martillo Vibrocompactador descritos en la ASTM C 1435 (Practica estándar para la elaboración de cilindros utilizando el Martillo Vibrocompactador).

Con la utilización de los dos métodos se pretende generar una base de datos, que nos permita analizar y comparar los resultados de resistencia a la compresión. Para posteriormente establecer correlaciones entre ambos métodos de llenado de cilindros y poder analizar cual método es más factible emplear.

Para la investigación se ensayaran cilindros a 7, 28 y 56 días; que según el comité ACI 214, debe ser como mínimo 30 ensayos para un adecuado control de calidad, y para las pruebas del Módulo de Elasticidad se tomarán como mínimo 3 a la edad de 28 días; por lo que se tendrá una cantidad aproximada de 300 cilindros a ensayar durante toda la investigación.

Además se realizarán otras correlaciones entre las propiedades mecánicas estudiadas a la mezcla de CCR, tanto en estado fresco como endurecido.

1.6 LIMITACIONES

- Para este trabajo de graduación solo se estudiarán los resultados de las pruebas realizadas en laboratorio con un solo tipo de cemento que será el regido por la norma ASTM C1157 Tipo HE, por lo que los resultados estarán de acuerdo al tipo de cemento a emplear.
- Los agregados que se utilizarán y que deberán cumplir con las especificaciones para el diseño de mezclas, serán tomados todos del mismo banco, por lo que los resultados que se obtendrán estarán sujetos a las propiedades de los agregados utilizados para la realización de la investigación.
- Este trabajo de investigación se limitará a pruebas de laboratorio, por lo que sólo se estudiarán los resultados de las pruebas que se mencionan a continuación: Consistencia, Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad. Con estos resultados se realizarán las respectivas correlaciones entre ellas.
- El período de tiempo disponible para realizar la investigación no permite profundizar en cada propiedad mecánica del CCR.

1.7 JUSTIFICACIÓN

La técnica del CCR ha sido utilizado desde hace mucho tiempo en otros países donde se ha implementado para la construcción de obras civiles de importancia tales como presas y carreteras, pero los fundamentos de esta técnica han venido evolucionando a través del tiempo con relación a equipos, aplicaciones, diseños estructurales y diseños de mezclas de concreto.

En nuestro país se construyó la carretera de San Martín a San Rafael Cedros utilizando para la sub-base una mezcla de CCR y actualmente se construye la Presa El Chaparral, obra de gran envergadura que ha sido diseñada también con esta técnica. Dichas obras son una muestra que el CCR es una técnica aplicable.

Tomando en cuenta que la proyección mundial está orientada a utilizar esta técnica por poseer ventajas como la rápida apertura de la carretera al tráfico y la reducción del contenido de cemento comparado con concretos convencionales, es necesario investigar propiedades que nos permitan conocer su comportamiento en la región local, propiedades tan importantes en estado fresco como la consistencia, la densidad, el tiempo de fraguado, la temperatura, y en estado endurecido como el módulo de elasticidad estático, módulo de elasticidad dinámico y la resistencia a la compresión. Esta última que es una de las propiedades relevantes en el diseño de toda obra civil.

El desarrollo de esta investigación es muy importante ya que los estudios anteriores hechos para el diseño de este tipo de mezcla solamente se realizaron utilizando una

práctica para el llenado de cilindros, por lo tanto se desconoce el comportamiento de los métodos paralelos.

Con esta investigación se pretende estudiar la influencia que posee el método aplicado para la elaboración de especímenes en la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos de las dos metodologías utilizadas paralelamente serán analizados y comparados estableciendo las respectivas correlaciones para determinar cuál de éstas presenta mejores resultados de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad estático y módulo de elasticidad dinámico (propiedades en estado endurecido) y que al momento de utilizar un método en particular se pueda determinar cuál será el más factible en base a estas propiedades.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

(CCR)

2.1 INTRODUCCIÓN

El Concreto compactado con Rodillo es producto de estudio en diversas partes del mundo, debido a su optimización de recursos y la obtención de una alternativa de calidad a bajo costo en la construcción, la técnica del CCR, no es una tecnología nueva; durante años diferentes países Europeos y Americanos han realizado una serie de investigaciones dedicadas al conocimiento de esta técnica como tal, a medida el tiempo avanza se realizan diferentes aplicaciones que mejoran día tras día, de esta manera, países como el nuestro con menos experiencia en la rama, logran tener una base informativa y de amplia experiencia, para desarrollar investigaciones locales que de igual manera contribuyan al progreso de El Salvador.

Los objetivos del diseño de CCR difieren de aquellos para los cuales el concreto convencional es diseñado, sin embargo los materiales utilizados para elaborar este tipo de mezclas son iguales a los utilizados para un concreto convencional, por lo cual es necesario conocer las características que cada uno de estos materiales debe poseer para asegurar una mezcla idónea para las diferentes aplicaciones que el CCR tiene.

En este capítulo, se dan a conocer aspectos relevantes del CCR, como definiciones, las aplicaciones de este tipo de concreto, ventajas y desventajas sobre su utilización, características de los materiales adecuados para conformar las mezclas de CCR, propiedades del concreto en estado fresco, así como las propiedades en estado endurecido. Además se presentan las metodologías de diseño de proporcionamiento de mezclas para este tipo de concreto propuestas por el comité ACI 211.3R-97.

2.2 HISTORIA DEL CCR EN EL SALVADOR

El Concreto Compactado con Rodillo es un material constituido por agregados, cemento, agua (en menor cantidad que para un convencional) y aditivos (opcional). Su mayor uso ha sido en la construcción de presas donde es necesario el concreto masivo. Así mismo, se ha utilizado en la construcción de pavimentos y pistas de aeropuertos.

En El Salvador, la técnica del CCR es reciente, sin embargo, se contabilizan proyectos significativos con los cuales se desarrolla y se escribe historia en nuestro país.

2.2.1 PROYECTO SAN MARTÍN – SAN RAFAEL CEDROS

En el año 2003 el Vice ministerio de Obras Públicas llevo a cabo la construcción de la carretera que de San Martín conduce a San Rafael Cedros, el cual incluía como parte de la estructura del pavimento, la construcción de una capa de CCR de 20 cm de espesor en un tramo de 14.52 km de longitud y dos carriles por sentido.

El CCR puede utilizarse como capa de rodadura; sin embargo, con el objetivo de mejorar la regularidad superficial del pavimento (IRI), puede utilizarse una sobrecapa de mezcla asfáltica en caliente. Para este proyecto, se consideró la construcción de una capa de rodadura de mezcla asfáltica de espesor 5 cm.

La mezcla de CCR que se utilizó, estaba compuesta por cemento Portland Tipo I, que cumple con la norma AASHTO M-85, agregado grueso y fino procedentes de la trituración de material clasificado geológicamente como andesita, así como aditivo reductor de agua y retardante (conocido comercialmente como Pozzolith 300R). La dosificación de la mezcla fue la siguiente:

Cemento	300 kg/m ³
Agua	135 kg/m ³
Arena.....	1041 kg/m ³
Aditivo.....	0.56 l/m ³
Grava 1 (1" a 3/4")	340 kg/m ³
Grava 2 (3/4" a 1/2")	342 kg/m ³
Grava 3 (1/2" a 1/4")	346 kg/m ³

La relación A/C de la mezcla es de 0.45, obteniendo valores de resistencia a la compresión y a la flexión (a 28 días de edad) en el orden de 500 kg/cm² y 64 kg/cm², respectivamente. Cabe indicar que de acuerdo a las especificaciones Técnicas de este proyecto, la resistencia a la flexión mínima debe ser de 45 kg/cm².

El diseño de la mezcla del Proyecto San Martín-San Rafael Cedros, se basó en:

- ✓ Determinación de la mejor relación de arena/agregados de la mezcla.
- ✓ Obtención del contenido óptimo de agua en la mezcla para alcanzar la compactación de diseño.

- ✓ Determinación del contenido óptimo de cemento en la mezcla para alcanzar la resistencia mínima especificada.
- ✓ Verificación de los resultados.

Para ello se elaboraron especímenes cilíndricos y vigas. Los especímenes de ensayo fueron elaborados utilizando una mesa vibratoria, con sobrecarga de 45 libras para cilindros y 70 libras para vigas.

La planta dosificadora utilizada (mostrada en la Figura N° 2.1), mantiene una producción promedio de aproximadamente 102 ton/h, realizándose la limpieza de las aspas de mezclado por cada 21 m³ de concreto producido.

FIGURA N° 2.1: PLANTA DOSIFICADORA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA PARA CCR.



Fuente: Informe Técnico “Aspectos del Concreto Compactado con Rodillo”
Vice- Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Septiembre de 2003.

El equipo de transporte utilizado, fueron camiones de volteo de aproximadamente 7 m³ de capacidad.

Se utilizó una maquina Pavimentadora Ingersoll Rand, tipo TITAN 325¹, la cual es capaz de densificar la mezcla al 94 % de la densidad máxima obtenida por el método de ensayo ASTM D 1557, colocando 600 m³ diarios (jornada continua de 12 horas).

De acuerdo a los datos técnicos de los fabricantes de la TITAN 325 EPM (Ingersoll – Rand ABG, Ha meln, Alemania), dicha pavimentadora tiene capacidad de colocar más de 1000 m³ por hora. En la Figura N° 2.2, se presenta un detalle del tren de colocación y compactación del CCR. Debido al alto grado de compactación obtenido por la pavimentadora utilizada en la construcción de la capa de CCR, se emplea un rodo liso tipo tándem de 12 toneladas para la densificación final.

El procedimiento de curado implementado, consistió en el curado por aproximadamente 24 horas, mediante la aplicación de agua y posteriormente un riego de asfalto rebajado (RC 250) a una tasa de aplicación de 0.30 Gal/m².

Previo a iniciar la construcción de la capa de CCR, se realizó un tramo de prueba de 150 m, en el cual se determinó el patrón de compactación que debía implementarse y la distancia a la cual debía ubicarse los cortes para las juntas. Cabe mencionar que se prescindió de las juntas longitudinales, y únicamente se ubicaron juntas transversales a cada 18 m, aproximadamente. Sin embargo, después se realizaron los cortes para juntas

¹ Especificado en Informe Técnico “Aspectos del Concreto Compactado con Rodillo” Vice-Ministerio de Obras Publicas de El Salvador, Septiembre de 2003

a 7 m y 9 m, debido a la presencia de fisuras transversales ubicadas entre ellas. Para el sello de los cortes en las juntas, se utilizó un sellador derivado de petróleo, conocido comercialmente como Crafcopolyflex Tipo 3.

**FIGURA N° 2.2: PAVIMENTADORA TITÁN 325 EPM
UTILIZADA EN EL PROYECTO**



Fuente: Informe Técnico “Aspectos del Concreto Compactado con Rodillo”
Vice- Ministerio de Obras Publicas de El Salvador, Septiembre de 2003.

2.2.2 PROYECTO PRESA EL CHAPARRAL, SAN MIGUEL

En el año 2003 CEL inicia los estudios de factibilidad para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico El Chaparral ubicado sobre el Río Lempa, entre los municipios de San Luis de La Reina, Carolina y San Antonio del Mosco. El diseño de dicho proyecto comprende la utilización del Concreto Compactado con Rodillo (CCR). En la Figura N° 2.3 se muestra una simulación a computadora de la Presa.

FIGURA N° 2.3: PRESA EL CHAPARRAL: SIMULACIÓN Y AVANCE DE CONSTRUCCIÓN



Fuente: pagina web elsalvadorahora.net

La Presa de concreto, de 87.5 m de altura y de 321 m de longitud de cresta, con un volumen de concreto aproximado de 375,000 m³. Tendrá un vertedero de 76.5 m de longitud con 4 compuertas metálicas.

Se ha cambiado el curso del río a través del túnel de desvío que consta de 370 metros. En el 2010 los trabajos se enfocaron en su totalidad a excavaciones para después posicionar el estanque amortiguador, una estructura de concreto de 112 metros de largo y 62.5 metros de ancho, donde se colocó parte de la casa de máquinas. También se hicieron tramos de prueba (Ver Figura N° 2.4) con diferentes proporciones de agregados para conocer las cantidades óptimas. De estos tramos se obtienen núcleos cilíndricos para ser ensayados a la Resistencia a la Compresión.

Sólo el canal construido para desviar el curso del río Torola tuvo un costo de \$ 9.1 millones. La obra finalizada tendrá un valor de \$ 219 millones aproximadamente.

La CEL estipula que para mayo de 2012 el embalse se comience a llenar de agua y que para la misma temporada de 2013 alcance su nivel máximo. Lleno por completo, el espejo de agua de lago tendrá 8.6 kilómetros cuadrados de superficie, distribuidos en 1.3 kilómetros en el municipio de San Luis de La Reina, 6.78 km en Carolina y 0.52 km en San Antonio del Mosco.

Hasta mediados de 2011, la Presa El Chaparral tiene un avance de obra del 22 %, se proyecta que para mediados de 2012 el embalse se comience a llenar.

FIGURA N° 2.4: TRAMO DE PRUEBA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR



Fuente: Fotografía tomada el día 18 de noviembre de 2010 por los autores

2.2.3 PROYECTO DESVÍO LOS CÓBANOS - SANTA RITA

En el año 2004, en el Departamento de Chalatenango, se hizo una Rehabilitación de la carpeta Asfáltica a Pavimento de concreto en el Desvío los Cóbános hasta Santa Rita con Concreto Compactado con Rodillo (CCR), en un tramo de 6 km aproximadamente. En la Figura N° 2.5 se muestra un tramo de la carretera.

FIGURA N° 2.5: CALLE SANTA RITA, CHALATENANGO



Fuente: Fotografías tomadas en Julio de 2011 por los autores

En la Figura N° 2.5 se observa que 7 años después de su construcción el pavimento muestra grietas tanto transversales como longitudinales y que han sido selladas con asfalto.

2.2.4 OTROS PROYECTOS

- ✚ En el año 2006, se construyó un Tramo de CCR en Metapán cantón Agua Fría hacia planta el Ronco.

- ✚ En el año 2007, se construyen con CCR tramos de las calles internas en la Planta de cemento El Ronco, Metapán.
- ✚ En el año 2011 se inicia el diseño y mezclas de prueba para el proyecto de calles internas en la Planta El Ronco, Metapán.

2.3 GENERALIDADES DEL CCR

2.3.1 DEFINICIÓN

El comité ACI 116 define al CCR como “Concreto Compactado con Rodillo, es aquel concreto que en estado no endurecido soportará un rodillo mientras es compactado”.

Sin embargo podemos incluir en su definición las características mecánicas que este presenta, y decir que el CCR es un concreto de consistencia seca, asentamiento nulo, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza con un rodillo vibrante, para esto debe ser lo suficientemente seca como para soportar el peso del equipo vibratorio, pero a su vez con la humedad adecuada para permitir la correcta distribución de la pasta cementante en toda la masa durante las etapas de mezcla y vibración.

Bajo la denominación de concretos compactados se engloban una serie de mezclas de cemento y agregados seleccionados, con un contenido de agua suficientemente reducido como para permitir su compactación con rodillos.

Las aplicaciones naturales de esta técnica son aquellas que pueden construirse con una gran relación entre superficie y espesor, es decir donde sea necesario aplicar grandes cantidades de concreto de forma rápida, como por ejemplo en los pavimentos y las presas.

Hay que indicar que en los primeros, el nombre de concretos compactados se reserva para las mezclas con un contenido de cemento del mismo orden que el de los concretos vibrados para pavimentos (entre 280 y 330 kg/m³ habitualmente), mientras que aquellas con dosificaciones más reducidas reciben diversas denominaciones: gravas cemento, concretos magros, bases tratadas con cemento, etc. Por el contrario, en las presas se incluyen bajo el término de concretos compactados a todos los tipos de mezclas, tanto los de mayor como los de menor dotación de conglomerante. En ambos casos se trata de obtener unos materiales que una vez endurecidos presentan unas características similares a las de los concretos convencionales vibrados, pero en su colocación en obra pueden utilizarse los equipos y métodos de construcción de terraplenes y presas de materiales sueltos (Moto niveladoras, rodillos, etc.), cuyo rendimiento es muy superior al de la ejecución entre encofrados.

Los concretos compactados para pavimentos presentan diferencias muy marcadas con respecto a los empleados en presas: a los pavimentos se les exige que una vez compactados cumplan con ciertas exigencias de regularidad superficial que son irrelevantes en las presas; mientras que en estas últimas se imponen condiciones de impermeabilidad, tanto del material en sí, como de las uniones entre las distintas capas, que carecen de importancia en los pavimentos. Como podemos observar hay muchas variantes dentro de la gama de Concreto Compactado.

En el mundo se utilizan distintas nomenclaturas para el Concreto Compactado, entre ellas están:

RCC: Roller Compacted Concrete, en E.U.A

RDLC: Roller dry lean concrete, en Inglaterra

RCD: Roller Compacted Dam, en Japón

BCR: Beton Compacte au Rouleau, en Francia

HCR: Hormigón Compactado con Rodillo, en España

CCR: Concreto Compactado con Rodillo, en América Latina

Aunque coloquialmente en la mayoría de países todos ellos se conocen por Rollcrete

2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CCR EN PAVIMENTOS

VENTAJAS

Las ventajas en la construcción con CCR son extensas y existen varias razones para explicar el amplio uso del Concreto Compactado con Rodillo, la primera de todas y que propició inicialmente su creciente desarrollo, es su bajo costo. La experiencia obtenida en otros países como Costa Rica, Estados Unidos y Canadá han demostrado que al construir con CCR se obtiene un ahorro de 15 al 30% sobre las construcciones similares de concreto convencional.²

Estos ahorros pueden atribuirse a factores tales como el empleo de maquinaria, que pueden ser utilizadas en otras unidades de obra y los grandes rendimientos que pueden obtenerse.

Otra de las ventajas del CCR es el ahorro en cemento: La gran compactación lograda con los rodillos vibratorios, hace que el CCR tenga mayor resistencia que un concreto convencional con igual contenido de cemento, existiendo un ahorro importante en el consumo de este por metro cúbico, por lo que posee también un menor contenido de pasta, que es un indicador del ahorro en materiales cementantes (de 4.5 a 7 bolsas por metro cúbico), que se puede lograr, sin dejar de lado la calidad y resistencia del

²Tesis: “Concreto Compactado con Pavimentadora como alternativa de pavimentación para la red vial de El Salvador”. El Salvador 2004.

concreto. A pesar de que el CCR no presenta evidencia visible de pasta de cemento cuando no está compactado, debe tener suficiente volumen de pasta para llenar todos los espacios vacíos de la masa de agregados.

La gran eficiencia en mezclado y construcción hace que la velocidad de avance y ejecución de obra sea 2 y 3 veces superior a los pavimentos de concreto convencional y pavimentos asfálticos, lo que crea otra ventaja que es la velocidad de construcción.

Posee mayor resistencia a la fatiga por flexión, un pavimento de CCR tiene mejor comportamiento a la fatiga por flexión que un concreto convencional de igual resistencia, esto conlleva a la reducción de espesores de losa y por tanto un ahorro en el volumen de concreto utilizado. Por ser un concreto más flexible también se logra la Reducción o eliminación de juntas. Los pavimentos construidos con CCR exhiben un comportamiento excelente bajo cargas de vehículos muy pesados.

Otras ventajas son:

- No necesita utilizarse formaletas
- La fabricación del CCR, se lleva a cabo en las plantas de concreto tradicional
- Facilidad de movimientos de trabajadores, maquinaria y materiales
- No requiere acabado manual.
- No se usa refuerzo de acero.
- La velocidad de colocación es alta

- Requiere poco personal auxiliar
- Puesta en obra con la maquinaria utilizada para concretos asfálticos con o sin adaptación, también puede distribuirse con Moto niveladora
- Bajo contenido de agua, que se aproxima mucho al del óptimo del ensayo Proctor modificado con lo que la retracción hidráulica es menor.

Es posible demostrar que los pavimentos de CCR son competitivos con el diseño de pavimento de asfalto, con los mismos requisitos de resistencia.³ Por otra parte, y considerando su empleo en refuerzos, los pavimentos de concreto compactado ofrecen la posibilidad de una apertura inmediata al tráfico, debido a la estabilidad del esqueleto de los agregados después de la compactación.

DESVENTAJAS

El CCR vial presenta ciertas limitaciones en su uso. Por ejemplo, las variaciones en la humedad y la compactación inadecuada tienen mucho que ver con el comportamiento final de este tipo de concretos (resistencia mecánica, durabilidad, trabajabilidad).

- Para tránsitos importantes hay que colocar una capa de rodamiento, generalmente asfáltica, concretos o tratamientos según sea el caso.
- La regularidad superficial es difícil de conseguir, especialmente cuando la distribución se realiza con Motoniveladora.

³Tesis: “Adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz en Hormigón Compactado con Rodillo”, Ecuador 2002.

- La textura y tersura de la superficie de rodadura no es la más adecuada, por lo que el CCR en pavimentos se usa generalmente como capa sub base.
- La compactación requiere un número elevado de pasadas y un control cuidadoso de las densidades conseguidas.
- El curado es imprescindible para asegurar la calidad superficial y que no se desprenda la capa de rodamiento.

2.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CCR EN PRESAS

VENTAJAS

La amplia aceptación de las presas de CCR se explica por las grandes ventajas de esta técnica, entre las que se pueden destacar:

Frente a las presas de concreto convencional:

- Mayor ritmo de construcción (puede llegar a 2-2.5 m cada semana).
- Utilización a gran escala de equipos convencionales (dumpers, bulldozers, rodillos), generando un costo menor.
- Como consecuencia de lo anterior un coste más reducido.
- Menor impacto ambiental, al no precisar realizarse excavaciones en las laderas.

Frente a las presas de materiales sueltos:

- Acortamiento del plazo de ejecución, al colocarse con ritmos similares, volúmenes mayores en tiempos reducidos.
- Aliviadero sobre la presa.
- Desvíos más cortos durante la construcción, como consecuencia, costo de ejecución comparable frente a las presas de materiales sueltos.
- Menor impacto ambiental, por la menor cantidad de materiales requerida, que conlleva a una disminución de los problemas de tráfico, producción de polvo y cicatrices en las zonas de préstamos.
- Soportan avenidas no solo en servicio sino también durante la fase de construcción⁴.
- La mayor parte de las presas de concreto compactado son del tipo de gravedad, aunque en algunos países (Sudáfrica, China), se tienen ya ejemplos de presas arco-gravedad y en China de presas arco. En todos los casos, el concreto compactado sustituye en el interior de la presa al convencional (suele ser habitual que al menos el paramento aguas arriba se construya con concreto convencional).

⁴Esta característica pudo comprobarse durante la ejecución de la presa de Santa Eugenia, en el Norte de España, que en diciembre de 1987, con media presa levantada, soportó dos grandes avenidas que arrastraron varios cientos de metros aguas abajo la maquinaria, que no había podido ser retirada, sin que el cuerpo de la presa sufriera daños.

DESVENTAJAS

Del mismo modo, existen ciertas desventajas del CCR en Presas, pero hay que tener en cuenta que estas sólo se aplican a las condiciones del sitio en particular y diseños.

Las situaciones en las que el CCR puede no ser apropiado, es cuando los materiales como agregados no están disponibles cerca del lugar o no son apropiados para el tipo de concreto, también cuando la roca base es de mala calidad o no está cerca de la superficie, o cuando el terreno de la fundación pueda dar lugar a asentamientos diferenciales excesivos.

Las desventajas más comunes que se dan en Presas son las siguientes:

- Infiltraciones entre las capas debido al carácter permeable y a un nivel de agrietamiento controlado.
- La Adherencia entre capas debido a las características del material las hace en cierta manera vulnerable ante los eventos sísmicos.

Esto ha ayudado a que se desarrollen nuevas tecnologías con respecto a la impermeabilidad, utilizando el PVC o una membrana sintética sujeta con concreto de alta calidad. Con respecto a los agrietamientos se ha trabajado en nuevas técnicas de juntas transversales o por cortes regulares de series de ranuras que actúan como inductores de grietas.

2.3.4 APLICACIONES DEL CCR

El CCR se utiliza principalmente para la construcción de presas y carreteras mediante compactación con rodillo o para producir prefabricados de concreto mediante equipos vibro-compactadores, extrusores o centrífugos, que transmiten alta energía durante el proceso de compactación.

También se aplica en la fabricación de elementos permeables con concreto poroso, el cual se elabora sin arena o con muy poca cantidad de ella.

El concreto compactado con rodillo tiene especificaciones particulares, tales como las enumeradas en la recomendación ACI 207.5, para concreto masivo (Presas) y ACI 325.10 para pavimentos. El concreto para prefabricados tiene aplicaciones como estructuras pretensadas, tubería, dóvelas, bloques, adoquines, losetas y tejas, entre otras

2.3.4.1 PAVIMENTOS

En los últimos años se han generado muchas soluciones con relación al diseño de pavimentos rígidos, como en lo referente a las técnicas de rehabilitación, especialmente en aquellos países donde el pavimento de concreto tiene un uso común no sólo en carreteras, sino en áreas urbanas.

Uno de los usos más importantes del concreto compactado con rodillo es, para la estabilización de bases y construcción de calles y carreteras, por su durabilidad y resistencia a la fatiga, así como la capacidad de soportar cargas producidas por el tráfico vehicular.

Tal es el caso de los proyectos de pavimentación en diversos países, donde el pavimento era sujeto a tráfico vehicular ligero, ubicados en caminos rurales y zonas urbanas, las primeras experiencias en el uso de estos pavimentos fue en Barcelona en los años setenta.

Desde esta década hasta ahora se han escrito un buen número de artículos acerca del uso y diseño de pavimentos rígidos, con base en la teoría del elemento finito. En esta teoría se sigue considerando las losas de concreto como elementos finitos, como homogéneas y elásticas en sus propiedades, asumiendo que la subrasante de apoyo se comporta como un líquido denso.

Aplicaciones actuales y perspectivas futuras.

- Pavimentos urbanos, rurales, de montaña, etc.
- Pavimentos resistentes del desgaste para aplicaciones industriales.
- Pavimentos para vehículos pesados, playas de estacionamiento y sendas peatonales.
- Pavimentos de tránsito rápido (con acabado asfáltico).

- Bacheos.
- Pistas de aeropuerto secundarios.
- Playas de estacionamiento de aviones, a prueba de huella y combustibles derramados.
- Técnica en desarrollo, debe poder superarse el problema de regularidad superficial y controlarse mejor las fisuras.

El uso del CCR en pavimentos varía desde espesores de un metro para la industria de minería hasta calles de ciudades, superficies pavimentadas de instalaciones de manejo de abono, aserraderos, pistas de rodamiento de camiones y pisos de almacenes.

Los procedimientos para la construcción de un pavimento de CCR requiere un control más rígido que en la construcción de presas. El contenido de cemento es similar al concreto convencional varía de 300 a 360 kg/m³ y la resistencia a compresión es cerca de 280 a 420 kg/cm² o 30 a 40 Mpa (4000 a 6000 lb/pulg²). El tamaño máximo nominal del agregado se limita a 19 mm (3/4 pulg) para proveer una superficie suave y densa. Para texturas superficiales aún mejores, se recomienda un tamaño máximo del agregado de 16 mm (5/8 pulg).

La mezcla de revenimiento (asentamiento) cero se produce normalmente en una mezcladora de flujo continuo con una tasa de producción de 400 toneladas por hora. Es posible mezclar el CCR en una central dosificadora, pero la planta se debe dedicar

exclusivamente a la producción del CCR, pues el material tiende a adherirse dentro del tambor. Las especificaciones normalmente requieren que se transporte y se compacte la mezcla en un periodo de 60 minutos del inicio del mezclado, a pesar de que las condiciones ambientales pueden aumentar o disminuir este período.

El CCR se coloca normalmente en capas con espesor de 125 a 250 mm (5 a 10 pulg), usando una máquina de pavimentación del tipo empleado para asfalto. Los equipos de pavimentación de alta densidad son preferibles para capas más gruesas que 150 mm (6 pulg), pues la necesidad de compactación adicional con rodillos se reduce. Donde el diseño requiera un espesor mayor que 250 mm (10 pulg), el CCR se debe colocar en capas múltiples.

Para disminuir el valor del IRI de un pavimento de CCR también puede emplearse el cepillado de la superficie del concreto. Para ello, se requiere maquinaria especializada que contiene un cabezal de corte con discos diamantados montados en forma paralela, los cuáles desbastan la superficie, En función del costo de implementación de dicha técnica, esta puede presentar algunas ventajas respecto a la colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente.

En este tipo de construcción, es importante que haya un retraso mínimo en la colocación de capas subsecuentes, a fin de asegurar una buena adherencia entre las capas. Después

de su colocación, el CCR se puede compactar con una combinación de rodillos vibratorios de llantas de acero y de llantas de caucho.

El curado es de vital importancia en la construcción de pavimentos con CCR. La relación agua cemento muy baja en la etapa inicial de mezclado significa que el CCR se secará muy rápidamente después de su colocación. Se recomienda el curado continuo con agua, a pesar que el rociado de emulsiones asfálticas, láminas de plástico y compuestos de curado de concreto han sido usados en algunos casos. Los proyectos de pavimentos tienen resistencia a compresión de diseño de cerca de 360 kg/cm^2 o 35 MPa (5000 lb/pulg^2) con resistencias en el campo que varían de 360 a 715 kg/cm^2 o 35 a 70 MPa (5000 a $10,000 \text{ lb/pulg}^2$).

El concreto de alta resistencia compactado con rodillo usado en áreas sujetas a impactos elevados y altas cargas abrasivas fue desarrollado a mitad de los años 90. Las mezclas se basan en la obtención de un empaquetamiento óptimo de las partículas de agregados de varios tamaños y la adición de humo de sílice a la mezcla.

PROCESO CONSTRUCTIVO

La producción de la mezcla para CCR se lleva a cabo en plantas dosificadoras, las cuales deben ubicarse tan cerca como sea posible del lugar donde se construye el pavimento, con el objeto de disminuir el tiempo de acarreo y con ello mantener las características de

trabajabilidad de la mezcla. La capacidad de producción de algunas de estas plantas puede encontrarse entre 100 Toneladas/hora y 250 Toneladas/hora; sin embargo en algunos casos, existen limitaciones en el rendimiento de las mismas debido al tiempo que debe emplearse para la limpieza continua de las aspas de mezclado, para efectos de retirar el concreto adherido. La mezcla puede transportarse al lugar de colocación utilizando camiones del volteo o camiones mezcladores. Los camiones de volteo deben equiparse con cubiertas para proteger la mezcla de los efectos adversos del medio ambiente, como puede ser la lluvia, viento, frío o calor.

Para la colocación y compactación de la mezcla para CCR, se emplea el mismo equipo que se utiliza para mezclas asfálticas, como se muestra en la Figura N° 2.6, sin embargo, la maquina Pavimentadora utilizada para la colocación de la mezcla, debe estar provista de dispositivos especiales que proporcionen un alto grado de compactación a la misma.

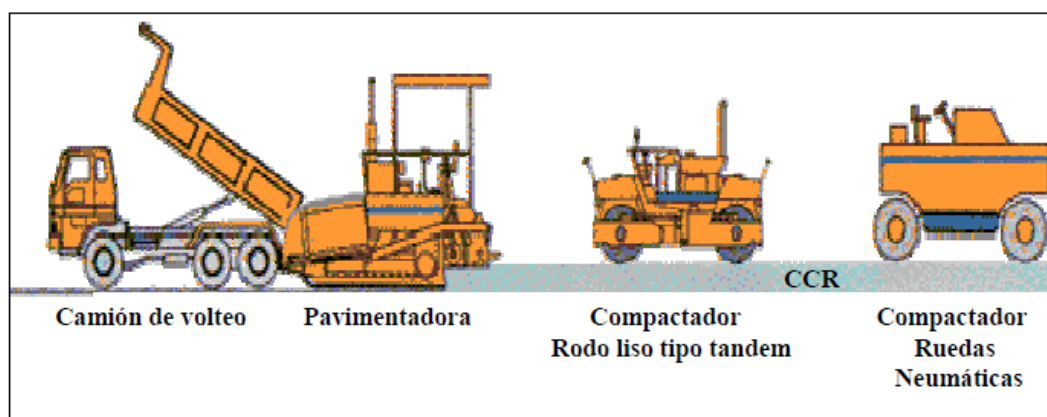
**FIGURA N° 2.6: TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CCR.
MÁQUINA PARA MEZCLA ASFÁLTICA**



Fuente: Informe Técnico “Aspectos del Concreto Compactado con Rodillo”
Vice- Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Septiembre de 2003.

Además de la densificación que proporciona la máquina pavimentadora a la mezcla, se utilizan rodos lisos tipo tándem de 10 toneladas de capacidad o mayores para su densificación final, y compactadoras neumáticas para lograr superficies con un mejor acabado. En la Figura N° 2.7 se muestra el tren de colocación y compactación del CCR.

FIGURA N° 2.7: TREN DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN



Fuente: Informe Técnico “Aspectos del Concreto Compactado con Rodillo” del Vice- Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Septiembre de 2003. pág. N°7

2.3.4.2 PRESAS

El CCR puede ser considerado para su aplicación en lugares donde el concreto con asentamiento nulo pueda ser transportado, colocado y compactado usando equipos de construcción para tierras y enrocados. Los proyectos ideales donde es utilizado el CCR son aquellos donde se involucra la colocación de grandes áreas de material, con poco o ningún reforzamiento incluido. Puede ser considerado para trabajos en grandes rellenos, pavimentos, fundaciones masivas, bases de losas, ataguías, reparaciones de emergencia

y protección superficial para presas y terraplenes. Pero donde mayor uso se le ha dado es en la construcción de presas.

Las presas de Concreto Compactado con Rodillo han sido diseñadas y construidas en muchos países alrededor del mundo, el interés por este tipo de presas se ha incrementado debido a la creciente aceptación de su empleo como concreto masivo en la construcción de presas, a la velocidad de construcción, a su bajo contenido de cemento y a su condición de asentamiento nulo.

Cuando hablamos de CCR en presas nos referimos únicamente a las presas de gravedad, que resisten fundamentalmente por peso y las solicitaciones a las que será sometida.

El CCR se puede usar en toda la estructura de la presa o como una capa de protección sobre la sección superior y sobre la cara de aguas abajo. El tamaño máximo nominal del agregado puede llegar hasta 150 mm (6 pulg). La mezcla de revenimiento cero se produce en una central dosificadora de gran capacidad cerca de la obra y se entrega por camión y/o bandas (cintas) transportadoras.

El contenido de cemento, normalmente es menor que el usado en una mezcla convencional, pero similar al del concreto masivo. Se han obtenido resistencias a compresión que varían de 70 a 320 kg/cm² o 7 a 30 MPa (1000 a 4500 lb/pulg²) en los concretos compactados con rodillos en proyectos de presas. La mezcla de CCR se

transporta por medio de camiones y esteras transportadoras y se la extiende con la máquina niveladora (cuchillo motor) o bulldozer, seguido de la compactación con compactadores vibratorios. No se usan encofrados. En algunos proyectos la cara de aguas arriba se reviste con un concreto convencional con aire incluido y resistencia más elevada o con paneles de concreto prefabricado, a fin de mejorar la durabilidad.

Otras aplicaciones de control de agua con CCR, es que se utilizan como vertedores de emergencia o capas de protección para terraplenes de presas, revestimiento de baja permeabilidad para depósitos de decantación, protección de orillas y estructuras de control de nivel para canales y lechos de ríos.

Empleo del CCR para la rehabilitación de presas existentes

El empleo del CCR para la rehabilitación de presas se ha convertido en un método muy empleado en Estados Unidos, sobre todo porque se han proyectado y construido las presas con recursos financieros limitados.

En las presas donde apenas se dispone de los fondos necesarios para su mantenimiento anual, o donde no se cuenta con la capacidad para financiar su rehabilitación o su sustitución por una nueva presa; es que ha sido conveniente el uso de CCR para la rehabilitación de la misma.

Por lo tanto, la elección de la alternativa de menor costo en ejecución de las medidas correctoras necesarias es obligada. La mayoría de los proyectos de rehabilitación, en los Estados Unidos, se han llevado a cabo sobre presas de pequeño tamaño. En la actualidad existen miles de presas con una altura inferior a los 15 metros que han sido calificadas como deficientes desde un punto de vista hidráulico o estructural. La financiación pública y privada para su rehabilitación es escasa.

Otro punto importante es que, dada su pequeña envergadura, las cargas hidráulicas de estas presas también son pequeñas en la misma escala cuantitativa.

El caudal unitario y el caudal por metro de anchura de aliviadero de la mayoría de las mismas son también reducidos. Por ello, los requisitos de rendimiento hidráulico resultantes son mucho menos exigentes que los necesarios en el caso de aliviaderos y desagües para mayores calados y alturas cinéticas. Las obras realizadas con CCR de calidad no demasiado elevada y los diseños sencillos dan rendimientos satisfactorios en esas condiciones.

2.3.4.3 OTROS USOS DEL CCR

Entre la bibliografía que hemos manejado para la realización de este trabajo, hemos encontrado algunas referencias a empleos con éxito del CCR en situaciones distintas a las descritas anteriormente y que trataremos de resumir brevemente.

- En sustitución al rip-rap⁵, como protección a la erosión en los márgenes de ríos.
- Como protección sobre cimentación en roca frágil.
- Como solera al pie de azudes en ríos. El espesor colocado era de 1.5 m y se aplicó en tongadas de 30 cm.
- De una manera particular se ha empleado también como solera rígida en grandes áreas de almacenamiento de vehículos militares pesados, etc.
- Por último podemos mencionar también aquí, el empleo de CCR en los cajeros del cuenco amortiguador del aliviadero auxiliar en la presa de Tarbela (Pakistán), con finalidades análogas a las ya mencionadas con anterioridad.

Otras aplicaciones pueden ser: Protección de las márgenes de canales, pavimentos, pistas de aeropuertos y helipuertos, fundaciones masivas, ataguías, realce de presas, reparaciones de emergencia, protección de la coronación de presas en tierra y reparación de talud aguas debajo de las mismas. Pero debido a que el concepto de CCR es relativamente reciente hay muchas mejoras y refinamientos aún por estudiar y resolver, y el intercambio de información y experiencia será de gran utilidad.

⁵Rip-rap: Material utilizado para la armadura de las costas, arroyos, estribos de puentes, pilotes y otras estructuras de la costa contra la erosión. Está hecho de una variedad de tipos de rocas, generalmente de granito o piedra caliza, y a veces de escombros de concreto de la construcción y pavimentación de la demolición. Se utiliza para proteger las costas y las estructuras de la erosión por el mar, ríos o arroyos. Se puede utilizar en cualquier curso de agua o depósitos de agua donde hay potencial de erosión.

2.3.5 CONTROL DE CALIDAD DEL CCR EN PAVIMENTOS

Como en toda obra de ingeniería los buenos resultados de la ejecución de pavimentos en CCR, dependen de un cuidadoso control por parte de los constructores y supervisores, a fin de que se cumplan, en función de criterios técnicos, las normas y especificaciones de la obra. El comité ACI 321.10R, recomienda que un mínimo de dos inspectores deben controlar la ejecución: uno en la central de mezclado y otro en la obra. En todo caso es conveniente aplicar lo contemplado en el Capítulo Ocho del Comité ACI 325 (State of the Art Report on Roller Concrete Pavements).

A continuación se hace un resumen del control de calidad que se debe tener con el CCR. El control de calidad del Concreto Compactado con Rodillo comprende dos fases: La primera es el control de calidad del material, que se realiza comprobando la humedad y la gradación de los agregados, asegurando que la planta esté bien calibrada y midiendo la densidad del concreto para comprobar el grado de compactación, lo cual se realiza fabricando probetas para ensayos de resistencia y de densidad. La segunda es el control de la calidad final del pavimento que se lleva a cabo comprobando la uniformidad de la superficie terminada. Extrayendo núcleos y viguetas del pavimento para medirles su resistencia, y el espesor final obtenido.

Control de materiales: El muestreo para prueba de los materiales suele ser el mismo que para concretos convencionales en pavimentos. Los materiales para CCR deben ser

transportados, manipulados y almacenados en estricto cumplimiento de las especificaciones, para poder controlar la segregación

Control de fabricación: Se comprobará la humedad de la mezcla como mínimo cinco veces al día. Tres veces al día se comprobará la granulometría por la mañana, al medio día y por la tarde o cada 382 m³, especialmente el contenido de finos y el de cemento. Se llevará un control del consumo promedio de cemento. Por cada 50 m³ de mezcla se tomará una muestra compuesta por cuatro especímenes fabricados y curados de acuerdo con la Norma ASTM C 78 (Método de prueba estándar para la Resistencia a la Flexión del concreto). De los cuales se fallarán dos a siete días y dos a 28 días.

Densidad: Se efectuarán medidas en sitios aleatorios, con una frecuencia mínima de una medida por cada 30 m² de superficie de pavimento de CCR; para esta operación se exige el empleo del densímetro nuclear.

Humedad in-situ: En planta, se efectuarán medidas en sitios escogidos aleatoriamente, en correspondencia con las efectuadas en el control de fabricación. Las zonas donde evidentemente se hubiera producido un incidente se corregirán debidamente.

Si se producen con mucha frecuencia desviaciones superiores a las tolerables, a juicio del inspector se reforzará el control al día siguiente.

En la Obra, dada la alta sensibilidad del CCR a las variaciones del agua, es conveniente un control estricto. Puede realizarse, por ejemplo, cada hora de trabajo; este intervalo de tiempo variará según la normalidad que se verifique en los valores obtenidos.⁶

Se tendrá en cuenta que del mismo camión que se retiró material para analizar se volverá a retirar una vez que éste llegue a la obra, para determinar un nuevo porcentaje de humedad que permitirá valorar las pérdidas que pudieran ocurrir durante el trayecto de planta en obra.

Limitaciones de la ejecución: El CCR se ejecutará cuando las condiciones ambientales permitan esperar que no se presenten lluvias intensas. En el caso que se presenten lluvias se deben suspender las operaciones. El control de calidad es una parte del proceso constructivo que debe tenerse en cuenta para el éxito del proyecto.

2.4 COMPONENTES DEL CCR

Los materiales usados para producir CCR son similares a los que se conocen para la elaboración del concreto convencional, los componentes utilizados son cemento, agua, agregado grueso y fino, y algunas veces aditivos químicos como lo muestra la Figura N° 2.8. De igual manera que para un concreto convencional los materiales utilizados deben

⁶ “Hormigón Compactado con Rodillo de uso vial” Experiencia argentina Por el Ing. Juan A. Galizzi.

de cumplir con los requerimientos mínimos aplicables que proporcione una mezcla adecuada, económica y funcional.

FIGURA N° 2.8: COMPONENTES DEL CCR



Fuente: 1° Seminario Internacional del Concreto, El Salvador 2011.

2.4.1 CEMENTO

2.4.1.1 DEFINICIÓN

Es un conglomerante que une o da cohesión, producido por la pulverización de la escoria que consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, que en forma usual contienen una o más formas de sulfatos de calcio que se añade y se muele con ella.

El cemento no es compuesto químico simple, sino una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos forman el 90 % o más del peso del cemento y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminaferrito tetracálcico.

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del CCR son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales conglomerantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse para CCR en forma individual o combinados entre sí.

El CCR puede elaborarse con cualquiera de los tipos básicos de cemento portland. Para las aplicaciones masivas cementos con una baja generación de calor son beneficiosos. La fuerza de desarrollo a edades tempranas de estos cementos, es generalmente más lenta que para un cemento de uso general, pero a edades mayores se tiene elevadas resistencias en CCR.

La generación de calor debido a la hidratación del cemento es típicamente controlado por el uso de un conglomerante que compense éstas características, remplazo de una porción del cemento con puzolana o una combinación de estos.

La reducción de la temperatura del concreto se puede lograr por otros métodos, tales como disminuir la temperatura de colocación. La elección del cemento tipo a utilizar debe considerar la economía de la selección de cemento.

2.4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE CEMENTOS USADOS EN CCR

CEMENTO POR DESEMPEÑO ASTM C-1157

La Norma ASTM C 1157 (Especificación por Rendimiento para Cementos Hidráulicos Mezclados) no establece la composición química de los diferentes tipos de cementos como lo hacen las normas ASTM C 150 y ASTM C 595. Sin embargo, los componentes individuales usados para fabricar los cementos ASTM C 1157 deben satisfacer los requisitos especificados en dicha norma.

La norma establece los requisitos de durabilidad de los cementos hidráulicos e incluye los mostrados en la Tabla N° 2.1.

TABLA N° 2.1: TIPOS DE CEMENTOS POR RENDIMIENTO ASTM C-1157

Tipo	Descripción
GU	Usos generales
HE	Alta resistencia a edades temprana
MS	Resistencia moderada a los sulfatos
HS	Resistencia alta a los sulfatos
MH	Moderado resistencia a los sulfatos
LH	Bajo Calor de Hidratación

Fuente: ASTM C 1157 “Especificación normalizada para cementos hidráulicos por rendimiento”

Estos cementos también pueden ser designados para una reactividad baja (opción R) con agregados álcali-reactivos

Tipo HE

Este es un cemento hidráulico por desempeño, el cuál posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final.

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este tipo de cemento es utilizado en nuestro País para la construcción pavimentos de concreto, y es el que se está aplicando para obras carreteras en CCR; en la Tabla N° 2.2 se muestran los requerimientos físicos del cemento tipo HE según la norma ASTM C 1157.

TABLA N° 2.2: REQUERIMIENTOS FÍSICOS DEL CEMENTO TIPO HE

Característica	Valor
Finura	*
Autoclave, cambio de longitud, máx.,%	0.80
Tiempo de fraguado inicial	45 minutos, mínimo 420 minutos, máximo
Contenido de aire por volumen de mortero %	**
Rango de resistencia	1 día: 102 Kg/cm ² (10 MPa) 3 días: 173 Kg/cm ² (17 MPa)

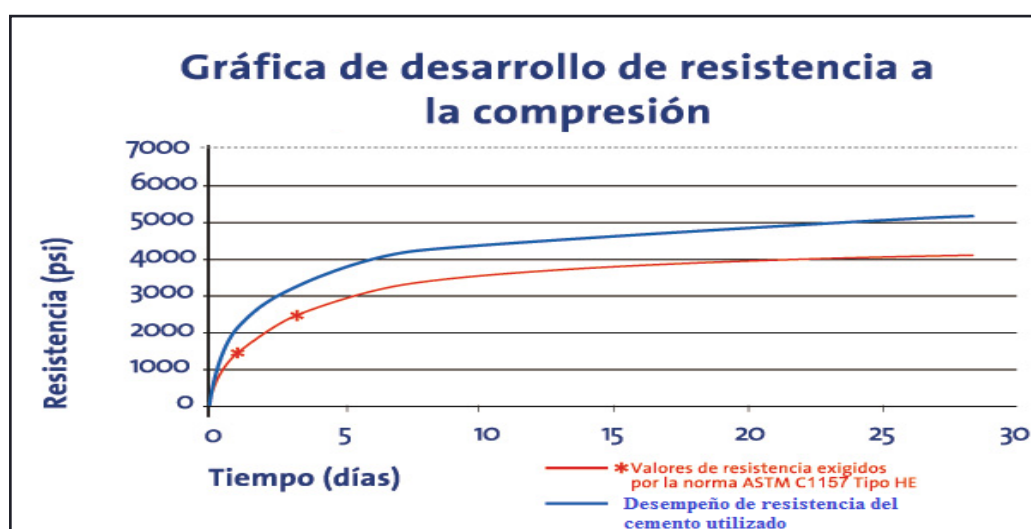
Fuente: ASTM C-1157 “Especificación normalizada para cementos hidráulicos por rendimiento”

* Ambas cantidades retenidas se efectuaron mediante tamizado húmedo en el tamiz de 45 micras (# 325) de superficie específica por el aparato de permeabilidad con aire en m²/kg, los resultados de las pruebas se presentaran en todos los certificados solicitados por el fabricante.

** El contenido de aire se presentara en todos los certificados de resultados de la prueba solicitada por el fabricante. Un valor dado en el mortero no asegura necesariamente que sea el contenido de aire deseado que se obtendrá en el concreto.

Este tipo de cemento alcanza resistencia a la compresión de 4400 PSI a los 28 días, la Figura N° 2.9 muestra una comparación de las resistencias alcanzadas con el tipo HE y el cemento que se utilizará.

FIGURA N° 2.9: COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CEMENTO UTILIZADO Y EL CEMENTO TIPO HE BAJO NORMA ASTM C-1157



2.4.1.3 ELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO

La selección de los tipos de cementos debe ser basada en parte, en la resistencia de diseño y la edad para la cual se requiere esta resistencia. Adicionalmente; límites aplicables en la composición química requerida para diferentes condiciones de exposición y reactividad álcali deben de considerarse, y seguir las practicas estándares del concreto. Para estructuras de CCR masivas, se recomienda el uso de cemento con limitaciones de calor de hidratación.

El proceso para definir y especificar el cemento potencialmente idóneo para cada aplicación en particular es de trascendental importancia, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.

Para poder proceder de manera realista en este aspecto, es necesario primero que se realice un recuento de las clases y tipos de cementos para CCR y que efectivamente se producen, o pueden producirse, en las fábricas de cemento del país, incluyendo sus respectivas características, usos indicados y normas aplicables.

2.4.1.4 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL CEMENTO

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos portland-puzolana, habría que añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de ésta en el cemento.

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionar el cemento adecuado para una obra de CCR, pueden determinarse por la indagación oportuna de aspectos importantes como:

1. Tipo de obra, logística que se aplicará y equipo a utilizar :

Definir si se construirá una presa o una carretera, si se desean resistencias a edades tempranas, además es necesario conocer el procedimiento que se seguirá durante su construcción, que equipos se encuentran disponibles, y si estos son los adecuados. Otro factor importante a considerar serán las soluciones a emplear cuando se presente algún imprevisto o inconveniente, que resuelva el problema de forma rápida, adecuada y económica.

2. Clase de exposición y servicio que será sometida la obra de CCR:

Este aspecto es de gran importancia pues se deberá conocer a cabalidad el tipo de exposición que tendrá la obra, y además subdividir esta exposición y clasificar el cemento adecuado. En carreteras es necesario abrir la obra lo más pronto posible al tráfico por lo cual un cemento con ganancia de resistencia a edades tempranas será adecuado.

3. Vida útil de la obra:

Cuando se realiza un diseño es necesario además de la resistencia, tomar en cuenta la durabilidad de la obra que depende del tipo de cemento seleccionado.

Además debemos de conocer las condiciones futuras para la cual la obra de CCR deberá de trabajar, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. ¿Es posible que sea sometida a cargas mayores?

2. ¿Va a tener más tránsito en el futuro?
3. ¿Puede tener un uso diferente?
4. ¿Puede ser sometida a ataques químicos?
5. ¿Puede ser sometido a desgastes por equipos?
6. ¿Puede ser sometido al fuego o calor?
7. ¿Va a estar expuesta a ciclos de humedecimiento y secado?

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuarlos a los requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Generación de calor en el concreto endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que en otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables. No obstante, es conveniente conocer y tomar en cuenta todos

los efectos previsibles en el concreto, cuando se trata de seleccionar el cemento apropiado para una obra de CCR determinada.

2.4.1.5 USO DE PUZOLANAS

La selección de una puzolana adecuada para el CCR se debe basar en su conformidad con la norma ASTM C 618 (Especificación estándar para Cenizas Volantes de Carbón y Puzolana Natural Cruda o Calcinada Para Concreto) u otra especificación aplicable, su comportamiento en el concreto y su disponibilidad a la ubicación del proyecto. Las puzolanas han sido usadas exitosamente en el CCR para reducir la generación de calor, para incrementar resistencia última a edades mayores de 180 días e incrementar el volumen de pasta de mezclas para mejorar características de compactación.

Las Puzolanas que cumplan las especificaciones de la norma ASTM C 618 para la Clase C, Clase F, y la clase N han sido utilizadas exitosamente en las mezclas de CCR. Puzolanas Clase F y Clase N son las que normalmente se prefieren, ya que contribuyen a disminuir el calor de hidratación comparadas con la Clase C y tienen mayor resistencia al ataque a los sulfatos. Para puzolanas Clase C puede ser necesaria una mayor atención con respecto al tiempo de fraguado, resistencia a los sulfatos, y el contenido de cal libre. El uso de una puzolana dependerá del comportamiento de los materiales necesarios así como de su costo y la disponibilidad en cada proyecto.

Su uso en mezclas de CCR puede servir a uno o más de los siguientes fines:

- 1) Como un sustituto parcial del cemento para reducir la generación de calor.
- 2) Para reducir el costo con la renovación parcial de cemento.
- 3) Como aditivo para proporcionar material suplementarias para facilitar la aplicación y el volumen de mezcla de pasta.

La tasa de sustitución de cemento puede variar de 0 a 80 % en masa. En Mezclas de CCR con un contenido más alto de material cementante, a menudo se utilizan grandes cantidades de puzolana para reemplazar el cemento portland con el fin de reducir interiormente el aumento de la temperatura que de otro modo se generaría y, en consecuencia reducir las tensiones térmicas. Cuando las mezclas de CCR tienen un bajo contenido de cemento, han sido utilizadas las puzolanas para asegurar una cantidad adecuada de pasta que rellenen las fisuras y las partículas de agregado de recubrimiento total.

La puzolana puede tener una limitada eficacia en mezclas con contenido de agregados que poseen cantidades perjudiciales de arcilla y partículas blandas. Mientras que la cantidad de puzolana aumenta el volumen de pasta de estas mezclas, no puede aumentar el desarrollo de la resistencia a largo plazo, esto causa insuficiente disponibilidad de hidróxido de calcio que se libera del cemento portlánd para una reacción puzolánicas.

Puzolanas Clase F, especialmente a bajas temperaturas, en general, retrasan la hidratación de las mezclas de CCR, lo que contribuye a la baja resistencia inicial, pero que extiende la vida útil de los concretos. En mezclas de CCR de alto contenido de puzolana, el aumento de calor puede continuar hasta por 60 a 90 días después de colocado.

2.4.1.6 USO DE CENIZAS VOLANTES

El uso de cenizas volantes es una medida particularmente efectiva de proporcionar material fino adicional para ayudar en la compactación de esas mezclas, en CCR que contiene agregado fino de concreto graduado de forma estándar la aplicación de cenizas resulta muy beneficioso.

2.4.1.7 CEMENTOS Y PUZOLANAS UTILIZADAS EN PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

Materiales cementantes utilizados en las mezclas de concreto para pavimentos de CCR incluyen cemento portlánd (ASTM C 150) o cemento hidráulico mezclados (ASTM C 595), y puede incluir puzolana, o una escoria granulada de alto horno.

Muchos de los pavimentos construidos de CCR hasta la fecha se han hecho utilizando cemento Portlánd Tipo I o Tipo II y cenizas volantes Clase F o Clase C. El uso de cenizas volantes en el CCR es eficaz para proporcionar material fino necesario para

asegurar una compactación adecuada. Las cenizas volantes por lo general oscilan entre 15 % y 20 % del volumen total de material de cemento. La selección de cualquier puzolana para su uso en el CCR se debe basar en conformidad con cada caso, normas o especificaciones, desempeño en el concreto, y su disponibilidad a la ubicación del proyecto.

2.4.1.8 CEMENTOS Y PUZOLANAS UTILIZADAS EN PRESAS

La consolidación con un rodillo no requiere cementos especiales, sin embargo, cuando el CCR es utilizado en concreto masivo, la recomendación de la selección de los cementos con menor generación de calor es de vital importancia.

En presas el cemento utilizado es el ASTM C 150 Tipo II (resistente a los sulfatos) y Tipo IV (calor de hidratación moderado), y los cementos mezclados ASTM C 595, Tipo IP (cemento-puzolana) y ASTM C 595 Tipo IS (cemento portland con escoria de alto horno)

El tipo IP es el más utilizado en la mayoría de las presas y se compone de una mezcla con adiciones en un 30 % o un 80 % del peso de puzolanas naturales o artificiales.

En los Estados Unidos, la ceniza volante clase F es la mezcla mineral más común usado en presas, sin embargo, en otras partes del mundo la ceniza volante clase C, la escoria y puzolana natural también se han utilizado.

2.4.2 AGREGADOS

2.4.2.1 GENERALIDADES

Los agregados se definen como el material granular que abarca aproximadamente el 75 % al 85 % por ciento del volumen de una mezcla de CCR, y cuya finalidad es conformar el esqueleto del concreto y por lo tanto afectan de manera significativa las propiedades de éste en estado fresco como en estado endurecido. Los agregados deben de consistir en partículas duras, limpias, durables, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimiento de arcilla y otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento. La selección adecuada de los agregados dará lugar a diseños económicos y durables.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

La selección de los agregados y el control de sus propiedades, como sus graduaciones son factores importantes que influyen en la calidad y homogeneidad de la producción del CCR. Los agregados similares a aquellos usados en el concreto convencional han sido usados también en mezclas de CCR.

En concretos recién mezclados, las propiedades del agregado afectan la comodidad de una mezcla, su potencialidad para segregarse y la facilidad con la que adecuadamente se consolidará en virtud de un rodillo vibratorio.

La resistencia, propiedades térmicas, el módulo de elasticidad y la durabilidad del concreto endurecido también se ven afectados por las propiedades del agregado.

Dentro de los agregados encontramos dos clasificaciones, los agregados gruesos o gravas y los agregados finos o arenas. Las fracciones de estos dos agregados pueden ser premezcladas y almacenadas como un agregado único en grandes proyectos.

Para una aplicación en específico la calidad de los agregados debe ser establecido con anterioridad a la construcción, basado en los desempeños de concreto requerido y con demostraciones en campo y evaluaciones de laboratorio. La mayoría de proyectos de CCR han sido construidos con agregados que cumplen con los requerimientos del ASTM C 33 (Especificación Estándar de Agregados para Concreto), con la excepción en una cantidad aumentada de finos que pasan la malla N° 200. Los límites de los requerimientos físicos y materiales nocivos para los agregados a ser usados en CCR deberán de cumplirse.

2.4.2.2 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS

Es necesario realizar esta división de los materiales debido a la condición mínima del concreto de dividir a los agregados en dos grupos, cuya frontera nominal es la malla N° 4 (4.75 mm), obteniendo por resultado lo mostrado en la Tabla N° 2.3:

TABLA N° 2.3: CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LOS LÍMITES GRANULOMÉTRICOS

Clasificación	Intervalo nominal (mm)	Mallas ASTM correspondientes
Agregado Fino	0.075 - 4.75	N° 200 a N° 4
Agregado Grueso	4.75 - variable	N° 4

Fuente: Norma ASTM C 33, especificación estándar de agregados para concreto

2.4.2.3 AGREGADO FINO

Puede consistir en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de los dos.

La arena manufacturada deberá provenir de rocas sanas y durables, que cumplan los requisitos de calidad necesarios para obtener un CCR de las características exigidas.

Los agregados finos deberán cumplir con lo indicado en la norma ASTM C 33 (Especificación Estándar de Agregados para Concreto) en el cual se define la calidad y graduación del agregado, además de otras propiedades y requisitos como: módulo de

finura, sustancias deletéreas, grumos de arcilla y partículas deleznable, sustancias dañinas, impurezas orgánicas y sanidad.

El uso de materiales pasantes por el tamiz 75 mm (Nº 200), si no son plásticos, resulta beneficioso porque reduce el porcentaje de vacíos de la pasta. Sin embargo, su efecto en el concreto fresco o endurecido debe ser evaluado en el estudio del diseño de la mezcla.

La graduación de agregados finos influye fuertemente a los requerimientos de la pasta y la compactabilidad del CCR. También afecta los requerimientos de agua y materiales cementantes necesarias para rellenar los vacíos de los agregados y cubrir las partículas de estos.

2.4.2.4 AGREGADO GRUESO

Por lo general consiste de grava triturada o sin triturar, piedra triturada, o una combinación de los mismos. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino.

El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

El CCR que contiene grava o piedra triturada podrá exigir un mayor esfuerzo para compactar, y es menos probable que se separen. Es también más estable durante la compactación y por lo general ofrece una mayor resistencia a la flexión.

Los agregados gruesos cumplirán con lo indicado en la norma ASTM C 33, con el objetivo de definir la calidad de los agregados, el tamaño máximo nominal del agregado, y otros requisitos de graduación específicos, además de definir las sustancias dañinas.

2.4.2.5 FINOS

En mezclas de bajo contenido de materiales cementantes, finos sustituyentes, y material que pasa la malla N° 200, son usualmente requeridos para rellenar los vacíos de los agregados. Dependiendo del volumen de material cementante y del TMN, el total requerido de finos menores a la malla N° 200 puede ser hasta de 10 % del total del volumen de agregados, con la mayoría de las mezclas usando aproximadamente un 3 % a 8 %. Las características y contenido de finos afectará relativamente la compactibilidad de la mezcla de CCR y puede influenciar en el número de pasadas del rodillo vibrador requerido para la compactación plena para un grosor de capa dada. Sin importar si es logrado por la adición de agregados finos, cemento, puzolana, o una combinación de estos, la mayoría de mezclas en CCR contienen aproximadamente 8 a 12 % de total de sólidos que pasan la malla N° 200 por volumen o de 12 a 16 % por masa.

Los finos rellenan los vacíos de los agregados, proveen una consistencia compactable, y ayudan a controlar la segregación, y disminuye la permeabilidad. Incluyendo agregados finos en mezclas de baja cantidad de pasta, que permite la reducción en el contenido de materiales cementantes. Adiciones excesivas de agregados finos después que los vacíos

hayan sido rellenos, son típicamente dañinas a la mezcla de CCR debido a que disminuye la trabajabilidad, y aumenta la demanda de agua y disminuye la resistencia.

Cuando se agrega los finos a una mezcla, otra consideración de importancia es su naturaleza. Finos triturados y materiales cortantes son aceptables. Sin embargo, finos arcillosos y plásticos, pueden aumentar la demanda de agua y causar una pérdida de resistencia y producir una mezcla pegajosa la cual es difícil de mezclar y compactar.

2.4.2.6 FUNCIONES DE LOS AGREGADOS EN EL CCR

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- a) Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b) Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c) Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

2.4.2.7 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRÍA

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). Un objetivo básico es proporcionar cualquier CCR que incorpore una cantidad máxima de agregados y una mínima cantidad de agua, la cual reduce la cantidad de materiales cementantes, consecuentemente reduce el cambio de volumen en el concreto. Este objetivo es llevado a cabo usando una buena graduación del agregado con el tamaño máximo, lo cuál es práctico para su colocación. La combinación propia de materiales debe resultar en una mezcla que alcanza las propiedades deseadas con una pasta adecuada y un contenido mínimo de cementantes. Sin embargo, en mezclas de CCR, la potencialidad de segregación y compactación también deben ser consideraciones primarias en la selección del tamaño máximo de los agregados.

La granulometría y el tamaño máximo, afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento afectan la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad y contracción.

GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía.

La selección del tamaño nominal de los agregados debe ser en base a la necesidad de reducir los requerimientos de materiales cementantes, de controlar la segregación y facilitar la compactación. La mayoría de proyectos de CCR han usado un TMN de 1 pulg - ½ pulg hasta 3 pulg (37.5 a 75 mm). No ha habido un real ahorro en usar agregados de tamaños mayores de 3 pulg que compensar el gasto de bachadas y controlar los incrementos de segregación asociados con partículas más grandes de agregados.⁷

La graduación de agregados gruesos usualmente cumple con la norma ASTM C 33 en cuanto a sus designaciones de tamaños. Algunos diseñadores, han usado agregados localmente disponibles en el camino en base a los requerimientos de graduaciones similares considerados en el ASTM D 2940 (Especificación estándar para evaluar agregados como material para bases o sub-bases de carreteras o aeropuertos). Donde se desee un control de la graduación de los agregados gruesos y la producción deseada de CCR, las separaciones de tamaños deben seguirse de acuerdo a la práctica normal de concreto, como recomendado en el ACI 304R.

Se pueden realizar ahorros por la combinación de dos o más rangos de tamaños como las designaciones del ASTM C 33, ASTM C 357 (Método de prueba estándar para la densidad aparente de materiales granulares refractarios) o ASTM C 67 para tamaño de 2 pulg al N° 4 (50 a 4.75 mm) y de 1 pulg - ½ pulg al No. 4 (37.5 a 4.75 mm), respectivamente. Sin embargo, mientras que el tamaño del rango aumenta, aumenta la

⁷ Comité ACI 207.5R-7 Capítulo 2 “Agregado Grueso”

dificultad de evitar la segregación de las partículas mayores durante la reserva y el manejo de este agregado.

2.4.2.8 TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN PAVIMENTOS

El aumento del TMN reduce el contenido de vacíos de los agregados y por lo tanto reduce la necesidad de pasta de una mezcla. Sin embargo, con el fin de reducir al mínimo la segregación durante la manipulación y colocación de CCR y para proporcionar una textura de la superficie de rodamiento relativamente suave, el TMN recomendado para este tipo de proyectos no debe exceder de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm).

Si las fracciones de agregados gruesos y finos son premezcladas y almacenadas como un grupo de tamaño único, la segregación puede resultar difícilmente controlada. Es necesario prestar cuidadosa atención a la manipulación de un solo grupo de tamaño de agregados.

Si el nivel longitudinal y transversal del pavimento es de importancia, los agregados gruesos y finos deben combinarse de tal manera que brinden una buena graduación total de la mezcla que produzca una máxima densidad.

Cuando el espesor de las capas a colocar, es mayor de 3 veces el TMN, este tiene poco efecto, la segregación es adecuadamente controlada y rodillos extremadamente grandes son usados para la compactación.

2.4.2.9 TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN PRESAS

El tamaño máximo del agregado para la fabricación del CCR, los proyectistas lo limitan a la cuarta parte del espesor de la capa, por lo tanto, para capas compactadas de 30 cm, se utilizan agregados entre 75 mm y 80 mm (aproximadamente 3 pulg). Sin embargo, algunos autores para evitar la segregación al verter y extender el material recomiendan que el tamaño máximo del agregado grueso este entre los 65 mm y 80 mm, siendo este último el más utilizado, aunque en algunos proyectos se ha limitado a 40 mm o 50 mm (2 pulg como máximo).

En los Estados Unidos, el TMN ha sido generalmente limitado a 75 mm (3 pulgadas) en CCR usado en secciones para presas.

2.4.2.10 PROPIEDADES QUÍMICAS

A. REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE

Los álcalis en el cemento están constituidos por el óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo. Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6 %, temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80 % y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C 227 (Método de prueba estándar para determinar la reactividad potencial Álcali-sílice de agregados (Método Mortar-Bar), ASTM C 289 (Método de prueba estándar para determinar la reactividad potencial Álcali-sílice de agregados (Método químico)), ASTM C 295 (Guía estándar para Exanimación Petrográfico de Agregados para Concreto) y que permiten obtener información para calificar la reactividad del agregado utilizado en algún proyecto en el cual el CCR es aplicado.

B. REACCIÓN ÁLCALI-CARBONATOS

Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas.

Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizados en ASTM C 586 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method).

Deberán verificarse las características de los agregados utilizados en las mezclas de CCR que aseguren buena calidad de concreto y durabilidad de la obra.

2.4.3 AGUA

El agua debe estar limpia, clara y libre de ácidos, sales, álcalis o materiales orgánicos que pueden ser perjudiciales para la calidad del concreto.

Debe estar libre de sustancias perjudiciales a la hidratación del cemento, por lo que es recomendado el uso de aguas potables.

En la tabla N° 2.4 se muestran los límites permitidos de las diferentes impurezas en el agua de mezclado.

TABLA N° 2.4: IMPUREZAS PERMISIBLES EN EL AGUA.

Impurezas	Límites (ppm)	Efectos en el concreto
Algas	2000	Inclusión de aire
Carbonatos	1000	Reducción del tiempo de fraguado
Sulfato de sodio	10000	Alta resistencia inicial; baja a edades largas
Sulfato de magnesio	40000	Alta resistencia inicial; baja a edades largas
Cloruros	20000	Reducción del tiempo de fraguado; alta resistencia inicial; baja a edades largas
Boratos	500	Retardo de fraguado
Azúcar	500	Retardo de fraguado

Fuente: Guía de clases de Tecnología del Concreto “Agua de Mezclado”. UES 2011

El agua no potable puede ser considerada como una fuente para una parte o la totalidad del agua de mezclado, siempre y cuando en el diseño las pruebas realizadas indiquen que el uso de dicha agua no tendrá ningún efecto perjudicial sobre la fuerza y las propiedades de durabilidad de la obra de CCR.

El porcentaje de agua por metro cúbico utilizado en CCR varía entre 4 % y 7 % del peso de los materiales secos, es decir, aproximadamente un 70 % menos del agua que normalmente se utiliza para fabricar un concreto común.

El control de la humedad de los agregados y de la mezcla es de gran importancia, pues los CCR son muy sensibles a la variación del contenido de agua. Su falta aumenta el riesgo de segregación y dificulta la compactación y el acabado superficial, mientras que su exceso produce inestabilidad de la mezcla durante la compactación y disminución de la resistencia mecánica del material.

Requerimientos de agua real necesitan ser establecidos en pruebas de laboratorio y verificado por pruebas de campo. Esto debe resultar en relaciones agua-material cementante (a/cm) en el rango de 0.25 a 0.40 o mayor.

2.4.4 ADITIVOS QUÍMICOS

Los aditivos químicos han sido efectivos en mezclas de CCR que tienen un contenido de agua suficiente para proveer una pasta más fluida. La norma ASTM C 494

(Especificación estándar para Aditivos Químicos para Concreto) muestran los requerimientos para los tipos de reductores, Tipos A (reductores de agua) y Tipo D (reductores de agua y retardantes) son los más usados comúnmente como aditivos químicos. Aditivos reductores de agua se usan en grandes dosificaciones, se ha demostrado que reducen la demanda de agua, aumentan la resistencia y retarda el fraguado, y promueve la trabajabilidad en algunas mezclas de CCR. Sin embargo, el conocimiento de la efectividad en otras mezclas, típicamente con contenidos bajos de materiales cementantes y niveles bajos de trabajabilidad, es limitado. Los Aditivos deben ser evaluados con una mezcla actual de CCR antes de ser usado en el campo.

Aditivos que gasifican no son comúnmente usados en CCR debido a la dificultad de generar las burbujas de aire del tamaño apropiado y su distribución cuando la mezcla tenga una consistencia de revenimiento cero. Sin embargo, infiltración de aire en CCR ha sido usado seguidamente en producción en China y los EE UU en proyectos más recientes, para mejorar la resistencia al deshielo, la permeabilidad y la manejabilidad y por lo consiguiente la durabilidad. De forma aproximada un 3 % y 4 % son usados para reducir la cantidad de agua para igualar la docilidad. Mezclas de CCR que muestra una consistencia de fluidez ha sido generalmente necesario para que los aditivos gasificadores se desarrollen.

2.5 PROPIEDADES DEL CCR

2.5.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

2.5.1.1 GENERALIDADES

Esencialmente muchos ensayos se llevan a cabo en la mezcla de concreto fresco asegurando propiedades persistentes como lo es la consistencia del concreto, contenido de aire, masa por unidad de volumen, y a veces, también involucra la característica de sangrado de la mezcla de concreto en estado fresco.

Usualmente, las mezclas secas enfrentan problemas ya que son frecuentemente difíciles de compactar y siempre involucra energía para su compactación. Además, una resistencia alta y durabilidad alta de la mezcla seca no podía lograrse en la ausencia de una compactación completa. Mientras tanto, el concreto con trabajabilidad satisfactoria también juega un papel vital en la construcción in-situ.

El concreto debe tener una trabajabilidad satisfactoria durante todo el período del proceso, que involucra el mezclado, transportación, colocación, compactación, y acabado del concreto fresco.

Las propiedades en este estado son importantes debido a una de sus ventajas principales, que es la libertad de formarse del concreto. Esta ventaja proporciona una eficiencia alta estructural y permite realizar diseños y ponerlos en práctica uniformemente.

Comparado con el estado endurecido del concreto, los errores hechos aún en estado fresco pueden ser remediados durante el período de construcción. Sin embargo, cuando el concreto comienza a estabilizarse y endurecer, los errores cometidos puede ser difíciles de remediar. En un procedimiento usual, el concreto defectuoso en estado fresco puede ser rechazado inmediatamente, si se tiene una supervisión adecuada para asegurar la calidad del concreto fresco. Sin embargo, todavía existen problemas si el trabajo de inspección no se hizo adecuadamente, que finalmente, causa defectos en la estructura.

Básicamente, la mezcla de concreto en estado fresco consiste de materiales como agregados y algunas otras partículas sólidas que están incluidos en la pasta de cemento. Mientras tanto, una pequeña proporción de aire también puede existir en la mezcla. La presencia de la pasta de cemento en la mezcla actúa como un ligante y un medio de separación para los agregados en la mezcla.

El concreto fresco es un estado de transición que está entre las posiciones del ensamblado inicial de agregados, cemento y otros ingredientes en el estado inicial de la mezcla y del estado endurecido final del concreto. Sin embargo, de acuerdo a Bartos (1992), la manera comúnmente adoptada para la determinación del concreto fresco fué la determinación de los tiempos inicial y final de fraguado del concreto. Generalmente, para el tiempo de fraguado inicial se toma como punto el tiempo en el cual la pasta de cemento alcanza la hidratación interna en la estructura hasta que el concreto desarrolla demasiada rigidez, que no permite la colocación y compactación efectiva de la pasta de

cemento por medios normales. Mientras tanto, la pasta de concreto se rigidiza a un punto en el cual el concreto logra un nivel de resistencia.

2.5.1.2 CONSISTENCIA

La consistencia puede ser definido como la habilidad relativa de un concreto recién mezclado de fluir.

El concreto adecuado para compactación por rodillo difiere notablemente en apariencia del concreto normal de asiento medible con los procedimientos habituales. El esfuerzo vibrante requerido es mucho mayor que el necesario para vibrar concreto convencional. Para consolidar este tipo de concreto se pueden emplear cualquier método externo de vibración suficiente para obtener la completa consolidación. La densidad máxima alcanzable para una mezcla dada depende del volumen de huecos del agregado y del contenido de mortero.

La consolidación efectiva de CCR, tiene que ser suficientemente seco para soportar el peso de la masa de un rodillo vibratorio, pero suficientemente mojado como para permitir la compactación adecuada de la pasta a través de la masa, durante el mezclado y las operaciones de compactación. El concreto adecuado para compactación con rodillos vibratorios es significativamente distinto en apariencia en estado no consolidado que la de un concreto con desplome medible. Hay poca evidencia de cualquier pasta en

la mezcla menos para cubrir el agregado hasta que se consolide. Las mezclas de CCR deben tener suficiente volumen de pasta para llenar los vacíos internos en la masa de agregado.

Aunque el ensayo de revenimiento es la medida más familiar de medir la consistencia de concreto y es la base para las medidas de consistencias mostradas en ACI 211.1, no es adecuado medir la consistencia de CCR.

A. TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad es la propiedad del concreto que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado, consolidado, y acabado.

No hay un solo ensayo que pueda medir esta propiedad en términos cuantitativos. Es usualmente conveniente usar algún tipo de medida de consistencia como un índice para la trabajabilidad.

El concreto de revenimiento nulo tendrá una trabajabilidad pobre si es consolidado por rodamiento a mano. Sin embargo, si se usa vibración, las características de trabajabilidad del mismo concreto pueden ser consideradas como excelente. El rango de mezclas trabajables pueden ser ampliado por la adopción de técnicas que transfieren mayor

energía hacia la masa a ser consolidado. El método de ensayo estándar para la medición de consistencia de CCR es ASTM C 1170, que usa el aparato Vebe modificado.

B. MÉTODOS PARA MEDIR LA CONSISTENCIA

Los métodos para medir la consistencia de las mezclas secas son:

1. El aparato Vebe,
2. El factor de compactación,
3. La mesa de Thaulow.

Son dispositivos de laboratorio que pueden proporcionar una medida de consistencia de mezclas de concreto con revenimientos menores de 25 mm (1 pulg).

a. EL APARATO VEBE

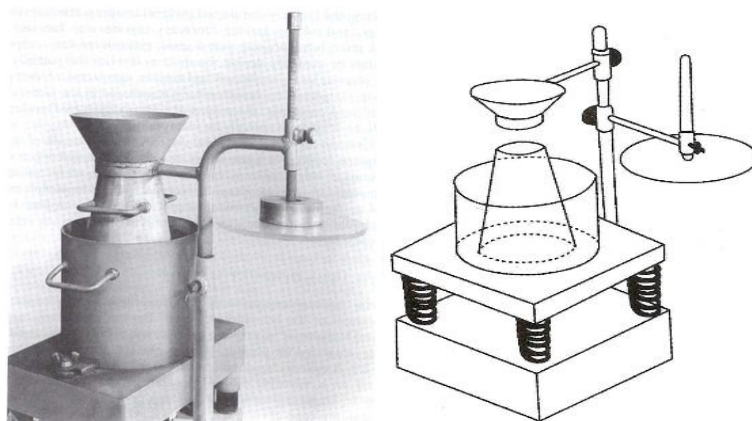
El aparato Vebe, que se muestra en la Figura N° 2.10, es el de mayor utilización y resulta especialmente útil para controlar la consistencia del concreto compactado con rodillo. El método de ensayo está descrito en la norma ASTM C 1170, que presenta un método para medir la consistencia y la densidad del concreto: utilizando una mesa vibratoria con sobrecarga, se determina el tiempo requerido para que una masa dada de concreto se consolide por vibración en un molde cilíndrico. La densidad se establece directamente dividiendo la masa sobre el volumen. Dependiendo de la consistencia del concreto se

puede utilizar una sobrecarga de 22.7 kg. Para mezclas muy secas o extremadamente secas, o una sobrecarga de 12.5 kg para mezclas secas en que el tiempo sea menor a 20 segundos.

El tiempo obtenido en el ensayo Vebe está influenciado por los factores como:

- La humedad de los agregados,
- El tiempo después de mezclado y
- Las condiciones climáticas.

FIGURA N° 2.10: APARATO VEBE



Fuente: Revista ISCYC. “Concreto de consistencia seca: una alternativa constructiva”,
Edición # 58, año 15, página 20.

Una comparación de resultados del ensayo Vebe con los ensayos convencionales de revenimiento se muestra en Tabla N° 2.5. Note que el ensayo Vebe puede dar resultados de consistencia para mezclas de términos “Extremadamente Seca”.

**TABLA N° 2.5: COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA
PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.**

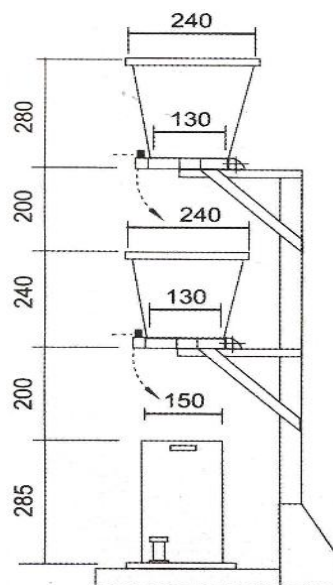
Descripción de consistencia	Revenimiento (mm)	Revenimiento (pulg)	Vebe (s)
Extremadamente seca	-	-	18 a 32
Muy Seca	-	-	10 a 18
Seca	0 a 25	0 a 1	5 a 10
Semi plástica	25 a 75	1 a 3	3 a 5
Plástica	75 a 125	3 a 5	0 a 3
Muy plástica	125 a 190	5 a 7 ½	-

Fuente: ACI 211.3R-02 “Guía para la selección de proporciones para concretos de revenimiento nulo”
Capítulo 2, Sección 2.2, Página 2.

b. FACTOR DE COMPACTACIÓN

El factor de compactación, que se muestra en la Figura N° 2.11, está descrito en la Norma BS 1881: parte 103, y consiste en una batería vertical de dos secciones troncocónicas invertidas y un cilindro colocado debajo de ellas. El concreto se coloca sin compactación en el cono superior, se abre una compuerta inferior y por gravedad se deja caer la mezcla hasta el cono siguiente, de menor volumen, posteriormente se abre la parte inferior de este cono para que el concreto caiga dentro del cilindro hasta llenarlo; se determina la masa y se aplica vibración exterior; después se llena y se determina nuevamente la masa. El factor de compactación es la relación entre la masa inicial sobre la final.

FIGURA N° 2.11: FACTOR DE COMPACTACIÓN



Fuente: Revista ISCYC "Concreto de consistencia seca: una alternativa constructiva".
Edición # 58, Año 15, Página 20

El ensayo del factor de compactación es apropiado para evaluar al concreto fresco con una trabajabilidad media. El valor preferido para el factor de compactación es entre 0.70 y 0.95. Además, este tipo de equipo se usa cuando el tamaño de los agregados en la mezcla no excede 20 mm. Según Neville (1999), la relación entre el factor de compactación y el ensayo de revenimiento, es el mostrado en la Tabla N° 2.6.⁸

Donde el factor de compactación:

- Es el grado de compactación, se mide por el proporcionamiento de la densidad.
- Es el proporcionamiento de la densidad del concreto logrado en el ensayo a la densidad del mismo concreto completamente compactado.

⁸ Tesis: Effect of Admixtures on the Use of Short Fibres In Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties, University of Southern Queensland, 2004.

TABLA N° 2.6: DESCRIPCIÓN DE TRABAJABILIDAD Y FACTOR DE COMPACTACIÓN.

Descripción de trabajabilidad	Factor de compactación	Revenimiento correspondiente
Muy Baja	0.78	0-25
Baja	0.85	25-50
Media	0.92	50-100
Alta	0.95	100-175

Fuente: FongChincheong-2004.pdf, pagina web: <http://eprints.usq.edu.au/99/1/FongChincheong-2004.pdf>

c. MESA DE THAULOW

El procedimiento de Thaulow es similar al ensayo en la mesa Vebe, con la diferencia de que el cilindro de concreto es remoldeado sobre una mesa de flujo. La medida utilizada para determinar la consistencia es el número de revoluciones producidas por la manivela, la cual tiene cuatro golpes por revolución. Esta medición resulta práctica porque no depende de corriente eléctrica, pero es poco usada porque no es tan precisa como la que se puede obtener con la mesa Vebe.

Tabla N° 2.7, en la que se combinaron las informaciones del ACI 211.3 y ACI 301, muestra que para mezclas secas son aplicables las medidas de consistencia, con el ensayo de asentamiento Vebe, Thaulow, y el factor de compactación. El asentamiento no se puede utilizar para mezclas secas y extremadamente secas, en las cuales el ensayo

más indicado es el aparato Vebe porque, como se dijo, es posible usar la mesa de Thaulow, pero es menos precisa.

Los valores que se esperan obtener en mezclas de CCR oscilan entre 5 a 32 segundos según el ensayo de tiempo Vebe.

TABLA N° 2.7: MEDIDAS DE CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTO EN EL APARATO VEBE.

Descripción consistencia	Revenimiento (mm)	Tiempo Vebe (s)	Mesa Thaulow (revoluciones)	Factor compactación (%)
Extremadamente seca	-	18 a 32	56-112	-
Muy seca	-	10 a 18	28-56	0.70
seca	0 a 25	5 a 10	14-28	0.75
Semi Plástica	25 a 75	3 a 5	7-14	0.85
Plástica	75 a 125	0 a 3	< 7	0.90
Muy plástica	125 a 190	-	-	-

Fuente: Revista ISCYC “Concreto de consistencia seca: una alternativa constructiva”.
Edición # 58, año 15, página 20.

2.5.1.3 MEZCLADO DE CONCRETO DE CONSISTENCIA SECA.

Las mezcladoras de rotación vertical y las mezcladoras de espiral con rotación horizontal son las más efectivas para el concreto de consistencia seca, porque requieren menos tiempo para combinar homogéneamente las materias primas e impiden las segregaciones dentro de la mezcla. Las mezcladoras giratorias o de eje horizontal no son

tan efectivas para el concreto de consistencia seca porque, además de emplear más tiempo de mezclado, el material fino tiende a pegarse en las paletas y en los extremos. Por lo general, las mezcladoras para concreto de consistencia seca pueden ser acondicionadas para dosificar automáticamente aditivos y fibras plásticas y metálicas. En cualquier caso; para evitar variaciones en la humedad y mantener los agregados lo más secos posible, es conveniente que el sistema de dosificación de agregados cuente con tolvas o silos cerrados que protejan de la lluvia el material; también es necesario disponer de sistemas de drenaje que ayuden a escurrir el agua, pues si el material está muy húmedo será imposible producir concreto sin asentamiento, ya que el agregado proporcionará más agua de la necesaria para que el concreto alcance la consistencia seca requerida.

Siendo la consistencia del concreto un factor importante para asegurar la eficiente compactación del concreto en un equipo y la conservación de su forma después de extruido o de retirada su formaleta, muchas mezcladoras están dotadas de sensores de humedad para ajustar la cantidad de agua en cada bachada. Algunas tienen, además sensores que durante el mezclado permiten dosificar el volumen exacto de agua para asegurar la consistencia deseada.

2.5.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

2.5.2.1 GENERALIDADES

Las propiedades del CCR en estado endurecido, son similares a las del concreto convencional. Sin embargo, existen diferencias entre el CCR y el concreto convencional, debidas primordialmente a las diferencias de los esfuerzos requeridos, comportamientos y contenidos de vacios de las mezclas de CCR.

Propiedades del concreto en estado endurecido que se le estudian al CCR:

1. Resistencia
 - Resistencia a la Compresión
 - Resistencia a la Tensión
 - Resistencia al Corte
 - Resistencia a la Flexión
2. Propiedades Elásticas:
 - Módulo de Elasticidad
 - Relación de Poisson
3. Propiedades Dinámicas
4. Propiedades Térmicas
5. Permeabilidad
6. Cambio de Volumen
 - Contracción por Secado

- Cambio de Volumen Autógeno

7. Durabilidad

- Resistencia a la Abrasión y Erosión
- Resistencia al Congelamiento y Deshielo

8. Peso Unitario

9. Comportamiento Frente a la Fatiga

10. Esfuerzos de Adhesión

De todas estas propiedades, se describirán las más importantes, que son relevantes en el área de pavimentos; para esta investigación solo se estudiarán las siguientes propiedades: Resistencia a la Compresión, Módulos de Elasticidad y Relación de Poisson.

Las propiedades del CCR dependen de la calidad de los materiales empleados, de la proporción de mezcla y del grado de compactación o consolidación. Debido al amplio rango de materiales y de mezclas que han sido usados en las diferentes construcciones a nivel mundial, desde mezclas pobres a mezclas con alto contenido de material cementante, los valores obtenidos para el conjunto de propiedades han sido variables.

La mayoría de las mezclas de CCR no tienen cantidades de aire incorporado y también pueden usar agregados que no cumplan con las medidas de calidad o requerimientos de graduación de las del concreto convencional. Las mezclas de CCR puede también tener

contenidos de puzolana, lo cual afecta el rango de aumento de esfuerzo y generación de calor de la mezcla. Debido a que algunas mezclas de CCR pueden usar agregados de calidad menor y cantidades menores de materiales cementantes que el de los concretos convencionales, el rango de propiedades de CCR endurecido es más amplio que el rango de propiedades del concreto convencional.

Agregados de calidad menor son aquellos que no cumplen los requerimientos para agregados de concretos convencionales, ya sea en durabilidad o graduación, o que hayan sido procesados sin lavarse. El uso de estos materiales debe ser especificado por el diseñador, basándose en los requerimientos de comportamiento.

Debido a que las mezclas de CCR 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 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. Los agregados pobremente graduados o los agregados con un alto porcentaje de agregado grueso, pueden tener una matriz de agregados que está completamente compactada y aún posee un relativo alto porcentaje de vacíos, originando densidades y resistencias bajas. Aunque en las mezclas con aproximación a suelos, se puede tener un mayor volumen de vacíos, todos los contactos de los agregados son cementados juntos.

La compactación con rodillo de una mezcla de CCR de asentamiento nulo, produce un material que es anisotrópico para muchas de sus propiedades. Esto se da principalmente para la impermeabilidad, donde la permeabilidad en dirección de la compactación vertical puede ser apreciablemente menor que en la dirección horizontal.

2.5.2.2 RESISTENCIA

A. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Ensayos de resistencia a la compresión son desarrollados en la fase de diseño para determinar los requerimientos de las proporciones 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 que muchas otras propiedades están directamente ligadas a ella. Para las presas de CCR se requieren usualmente edades de ensayo de 90, 180 ó 360 días y de 28 días para pavimentos de CCR. Las edades requeridas para las presas de CCR se deben al desarrollo de resistencias a largo plazo de concretos que tienen en su mezcla material puzolánico como parte del material cementante.

La resistencia a la compresión del CCR está determinada por el contenido de agua, el contenido y las propiedades del material cementante, la granulometría del agregado y el grado de compactación. Para muchas mezclas de CCR, la resistencia a la compresión es una función de la relación agua - material cementante, tal como en los concretos convencionales.

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 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.

Para la mayoría de los CCR, el diseñador establece un contenido de agua relativamente fijo, el cual está basado en el tiempo Vebe. El diseñador de mezclas CCR con aproximación a suelos puede decidir un contenido de agua ligeramente mayor que el óptimo para obtener una mejor trabajabilidad. Sin embargo, una vez que el contenido de agua y el esfuerzo de compactación son establecidos, la resistencia a la compresión depende del contenido de cemento o del contenido de la puzolana más cemento. La resistencia a la compresión se incrementa con el tiempo y el contenido de material cementante en la mezcla.

La Tabla N° 2.8, muestra esfuerzos a la compresión obtenidos de proyectos, donde se han empleado tres métodos para la fabricación de los especímenes entre los cuales tenemos el martillo neumático, Vebe y el Proctor modificado; para el análisis estadístico y verificar el comportamiento que sigue este tipo de concreto a diferentes edades.

TABLA N° 2.8: RESISTENCIAS TÍPICAS A LA COMPRESIÓN DE CCR.

Presa/proyecto	Cemento (Kg/m ³)	Puzolana (Kg/m ³)	a/c	TMN (pulg)	Método de fabricación de cilindros	Resistencia a la compresión, MPa, a la edad de				
						7 días	28 días	90 días	180 días	365 días
Camp Dyer	82	81	0.55	1.5	VB	6.1	10.1	-	-	25.4
Concepcion	90	0	1.03	3	PT	4.0	5.5	7.6	8.8	-
Galesville	53	51	1.09	3	PT	2.1	4.0	7.0	-	11.2
	65	68	0.84	3	PT	2.9	5.7	9.4	-	-
Middle Fork	66	0	1.43	3	PT	-	8.8	11.4	-	-
Santa Cruz	76	75	0.67	2	VB	7.5	18.8	22.2	-	30.5
Stacy Spillway	125	62	0.82	1.5	MP	-	18.1	21.4	-	-
Stagecoach	71	77	0.93	2	PT	1.5	2.4	-	6.8	8.6
Upper Stillwater	79	173	0.37	2	VB	10.8	17.7	24.8	38.5	48.1
	94	207	0.30	2	VB	14.1	23.6	29.0	38.1	51.0
	79	173	0.39	2	VB	7.4	12.6	17.9	-	44.1
	93	206	0.33	2	VB	9.2	15.4	21.4	-	46.5
Urugua-I	60	0	1.67	3	PT	-	6.4	8.1	-	9.6
Willow Creek	104	0	1.06	3	PT	6.9	12.8	18.3	-	26.1
	104	47	0.73	3	PT	7.9	14.2	27.3	-	28.6
	47	19	1.61	3	PT	4.0	8.1	11.9	-	18.1
	187	80	0.41	1.5	PT	14.0	23.5	30.8	-	39.9

Fuente: ACI 207.5R-99 "Roller-Compacted Mass Concrete". Capítulo 3, Sección 3.2.1, página 13.

Nota: Método de fabricación de cilindros: VB = Vebe (ASTM C 1176); MP = Proctor Modificado (ASTM D 1557); y

PT = Martillo Neumático (ASTM C 1435).

Las mezclas de CCR con un bajo contenido de pasta pueden alcanzar resistencias a la compresión de 50 a 150 Kg/cm², las de contenido de pasta medio de 110 a 210 Kg/cm² y las mezclas con alto contenido de pasta alcanzarán resistencias de 175 a 315 Kg/cm².

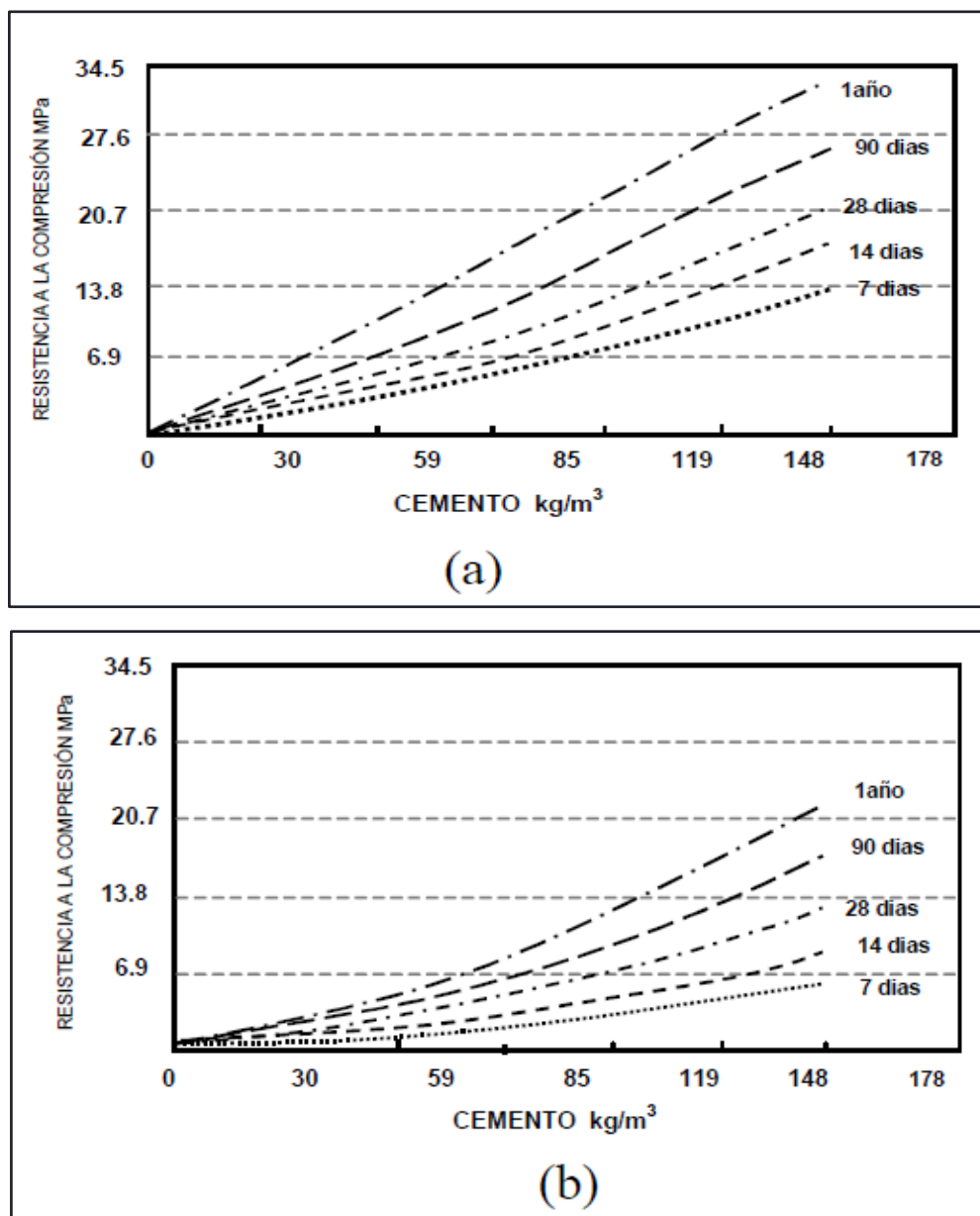
La Figura N° 2.12: (a) y (b) muestran una familia de curvas de resistencia a la compresión desarrolladas para diferentes agregados, usando el método de proporcionamiento por compactación de suelos.

B. RESISTENCIA A LA TENSIÓN

La resistencia a la tensión del CCR es requerida para propósitos de diseño, incluyendo el análisis de cargas dinámicas y el análisis térmico. La relación de la resistencia a la tensión y la resistencia a la compresión en el CCR varía dependiendo de la calidad del agregado, edad, contenido de cemento y resistencia. La resistencia a la tensión del CCR está en el orden del 10 % al 15 % de la resistencia a la compresión.

Resultados de resistencia a tensión de núcleos obtenidos de proyectos de pavimentos de CCR oscilan entre los valores de 400 hasta 600 psi (2.8 a 4.1 Mpa) a los 28 días dependiendo del contenido de materiales cementantes de la mezcla. En la Tabla N° 2.9, se muestran resultados típicos de resistencia a la tensión de proyectos en U.S. de CCR.

FIGURA N° 2.12: (a) CURVAS DE RESISTENCIA DE CCR QUE PUEDEN SER DESARROLLADAS CON VARIAS PROPORCIONES DE CEMENTO PARA AGREGADOS DE BUENA CALIDAD. (b) CURVAS DE RESISTENCIA DE CCR DESARROLLADAS CON AGREGADOS DE MENOR CALIDAD.



Fuente: ACI 207.5R-99 "Roller-Compacted Mass Concrete". Capítulo 3, Sección 3.2.1, página 14.

TABLA N° 2.9: RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN Y TENSIÓN DE PROYECTOS DE CCR.

Proyecto	Edad, días	Resistencia a la Flexión promedio, psi	Resistencia a la Tensión (rompimiento) promedio, psi
Ft. Stewart	90	1010	-
Ft. Hood	7	661	-
	28	830	-
Harvey Barracks	7	-	338
	28	783	402
Ft. Campbell	7	647	398
	28	-	-
Aberdeen Proving Ground	7	553	379
	28	627	452

Fuente: ACI 325.10R-95 "Reporto Roller-Compacted Concrete Pavements". Capítulo 5, Sección 5.4, página 11

2.5.2.3 PROPIEDADES ELÁSTICAS

A. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad está definido como la relación del esfuerzo normal a su correspondiente deformación para esfuerzos de tensión o compresión, por debajo del límite elástico proporcional del material.

Los principales factores que pueden afectar el módulo de elasticidad del CCR son la edad, la resistencia, el volumen de pasta y el tipo de agregado. Generalmente para un tipo de agregado dado, el módulo de elasticidad está en función de la resistencia. Las mezclas de CCR preparadas con agregados para concretos convencionales y un contenido relativamente alto de cemento o cemento más puzolana pueden desarrollar módulos similares a aquellos obtenidos en concretos convencionales.

En la mayoría de concretos masivos, se desea un bajo módulo para disminuir las grietas potenciales. Mezclas pobres de CCR, usando finos naturales o manufacturados como el filler han resultado con muy bajo módulo.

Valores típicos de Módulos de elasticidad, se muestran en la tabla N° 2.10; que se han realizado para el análisis de una variedad de mezclas de CCR en diferentes proyectos de Presas.

TABLA N° 2.10: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE ALGUNAS MEZCLAS CCR EN LABORATORIO.

Presa/ Proyecto	Método fabricación de cilindros	TMN (pulg)	a/c	Resistencia a la compresión, (Mpa)				Modulo de Elasticidad, (GPa)			
				7 días	28 días	90 días	365 días	7 días	28 días	90 días	365 días
Concepción	PT	3	1.03	4.4	6.8	8.6	11.7	-	7.58	13.17	22.82
Santa Cruz	VB	2	0.88	4.4	8.9	15.0	21.0	9.38	12.41	15.58	22.34
Upper Stillwater	VB	2	0.47	9.4	14.7	24.2	36.0	-	7.10	9.10	11.79
	VB	2	0.45	5.3	8.4	14.8	33.0	-	5.65	-	10.96
	VB	2	0.43	7.7	11.2	19.1	34.2	-	6.34	-	12.14
Urugua I	PT	3	1.67	-	6.4	8.1	9.6	-	15.51	21.51	24.82
Willow Creek	PT	3	1.06	6.9	12.7	18.3	26.1	15.17	18.41	19.17	-
	PT	3	0.73	7.9	14.2	27.3	28.6	16.55	20.06	22.41	-
	PT	3	1.61	4.0	8.1	11.9	18.1	8.27	10.96	13.17	-
Zintel Canyon	PT	3	2.00	1.9	4.3	7.5	10.7	4.69	10.62	14.82	17.72
	PT	3	1.00	6.8	11.2	14.7	21.4	10.62	16.48	17.03	22.62

Fuente: ACI 207.5R-99 "Roller-Compacted Mass Concrete". Capítulo 3, Sección 3.3.1, página 17.

Método de fabricación de cilindros: VB= Vebe (ASTM C 1176); PT= martillo Neumático (ASTM C 1435).

B. RELACIÓN DE POISSON

El valor de la Relación de Poisson es la relación de la deformación transversal (lateral) a la correspondiente deformación axial (longitudinal), resultante de la distribución uniforme de los esfuerzos axiales bajo el límite de proporcionalidad del material. Se ha encontrado que el valor de la Relación de Poisson en el CCR es similar a los valores reportados para los concretos normales, pudiendo presentarse un rango de 0.17 a 0.22.

Diferentes valores de Relación de Poisson se han obtenido de diseños de mezclas de CCR para distintos proyectos, los cuales son mostrados en la Tabla N° 2.11.

TABLA N° 2.11: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RELACIÓN DE POISSON DE ALGUNAS MEZCLAS DE CCR EN LABORATORIO.

Presa/ Proyecto	Método fabricación de cilindros	TMN (pulg)	a/c	Resistencia a la compresión, (Mpa)				Relación de Poisson			
				7 días	28 días	90 días	365 días	7 días	28 días	90 días	365 días
Concepción	PT	3	1.03	4.4	6.8	8.6	11.7	-	0.17	-	-
Santa Cruz	VB	2	0.88	4.4	8.9	15.0	21.0	0.13	0.14	0.19	0.21
Upper Stillwater	VB	2	0.47	9.4	14.7	24.2	36.0	-	0.13	0.14	0.17
	VB	2	0.45	5.3	8.4	14.8	33.0	-	0.13	-	0.20
	VB	2	0.43	7.7	11.2	19.1	34.2	-	0.13	-	0.18
Urugua I	PT	3	1.67	-	6.4	8.1	9.6	-	-	-	-
Willow Creek	PT	3	1.06	6.9	12.7	18.3	26.1	-	0.19	0.18	-
	PT	3	0.73	7.9	14.2	27.3	28.6	-	0.21	0.21	-
	PT	3	1.61	4.0	8.1	11.9	18.1	-	0.14	0.17	-
Zintel Canyon	PT	3	2.00	1.9	4.3	7.5	10.7	-	-	0.21	-
	PT	3	1.00	6.8	11.2	14.7	21.4	-	-	0.20	-

Fuente: ACI 207.5R-99 "Roller-Compacted Mass Concrete". Capítulo 3, Sección 3.3.2, página 17.

Método de fabricación de cilindros: VB= Vebe (ASTM C 1176); PT= martillo Neumático (ASTM C 1435).

2.5.2.4 PROPIEDADES TÉRMICAS

Las propiedades térmicas, incluyendo el calor específico, conductividad, coeficiente de expansión térmica y el aumento de temperatura adiabática son la principal preocupación en masas de concreto convencional y de concreto compactado con rodillo. Las propiedades termales de la mezclas son gobernadas por las propiedades termales de los constituyentes. Aunque los valores para concretos convencionales y CCR son similares, los valores reales medidos pueden variar significativamente, dependiendo del tipo y contenido de agregado, cemento y puzolana.

El aumento de la temperatura adiabática es afectado por el total del contenido de material cementante y el porcentaje de puzolana en la mezcla. Las mezclas de CCR con bajo contenido de material cementante tendrán menor aumento de temperatura que las mezclas normales de concreto masivo. También, las puzolanas pueden reducir la velocidad de aumento de temperatura en las edades tempranas.

2.5.2.5 CAMBIOS DE VOLUMEN

A. CONTRACCIÓN POR SECADO

La contracción por secado es gobernada principalmente por el contenido de agua en la mezcla y en menor extensión por el grado de control del agregado. El cambio de volumen debido a contracción por secado en CCR se minimiza debido al bajo contenido de agua de éste.

B. CAMBIO DE VOLUMEN AUTÓGENO

El cambio de volumen autógeno, comúnmente llamado "contracción autógena" es una disminución en el volumen del concreto debido a la hidratación de los materiales cementantes dentro del concreto, ganando o perdiendo humedad. Este tipo de cambio de volumen ocurre en el interior de una gran masa de concreto y puede ser un factor significativo. Está principalmente relacionado a las propiedades de los materiales, las proporciones en la mezcla y especialmente al tipo de agregado.

Las mezclas de CCR con un factor bajo de cemento tienden a ser más estables. El efecto de esta propiedad puede generalmente ser ignorado para estructuras pequeñas y de menor longitud.

2.5.2.6 PERMEABILIDAD

La permeabilidad del CCR depende principalmente de los vacíos en la masa compactada junto con la porosidad de la matriz del mortero, y por lo tanto, está casi totalmente controlada por la proporción de mezcla, el método de colocación y el grado de compactación.

El CCR será relativamente impermeable cuando la mezcla contenga suficiente pasta, mortero y una adecuada distribución de las partículas finas que minimicen el sistema de

vacíos de aire, que eviten la ocurrencia de la segregación del agregado grueso y se obtenga una completa compactación.

En general, una masa de CCR sin fisuras, preparada con agregado convencional limpio, con suficiente pasta o una mezcla muy pobre con una granulometría de agregados controlada y con suficientes finos, deberá tener valores de permeabilidad similares al de los concretos normales.

La propiedad que causa mayores preocupaciones a los diseñadores de presas de CCR es la permeabilidad en sitio, siendo las juntas entre las capas la principal causa de la dificultad. Sin embargo se ha demostrado que es posible obtener un monolitismo efectivo y estructuras impermeables, cuando el CCR se coloca en capas y se presta especial atención al tratamiento entre juntas.

Se ha sugerido que la impermeabilidad del CCR puede estar directamente relacionada a su contenido de material cementante. Este hecho es especialmente aplicable a las mezclas de CCR que conforman la aproximación a concreto donde la pasta excede a los vacíos en el agregado. Por lo tanto, los mayores contenidos de material cementante producen una pasta más impermeable. Para mezclas con aproximación a suelos, se puede alcanzar una mayor impermeabilidad con una combinación del incremento del contenido de cementante, mayor compactación y suficiente cantidad de finos en un agregado bien graduado, todo ello con la finalidad de reducir los vacíos en el material.

Las mezclas de CCR mejoradas con un coeficiente de permeabilidad similar al de los concretos normales son más adecuadas para la construcción de presas de gravedad o presas de arco de gran altura. El empleo de un alto porcentaje de finos (que no sean cemento), filler o material puzolánico en una mezcla de CCR, contribuye a su baja permeabilidad, sin incrementar las posibilidades de agrietamiento térmico. El coeficiente de permeabilidad de las juntas de construcción del CCR ensayadas tiene valores desde 1×10^{-9} a 1×10^{-11} cm/s, comparables con los del concreto normal.

2.5.2.7 DURABILIDAD

La durabilidad del CCR es especialmente importante si el material es expuesto al tiempo o a fuerzas hidráulicas severas. El CCR, como el concreto en masa convencional, está sujeto a un potencial deterioro debido a los efectos de abrasión/erosión, congelamiento/deshielo y otros factores como reacción álcali /sílice y ataque a los sulfatos.

A. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y EROSIÓN

La resistencia a la erosión del CCR es proporcional a su resistencia a la compresión y a la abrasión de los agregados empleados en la mezcla. El CCR ha mostrado buena resistencia a la erosión y abrasión, tanto en el laboratorio como en obra. Los pavimentos

que soportan carga pesada no han presentado desgaste apreciable por tráfico o abrasión industrial bajo condiciones severas.

B. RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Debido a que generalmente en las mezclas de CCR un contenido apropiado de aire atrapado no es obtenible con aditivos, la resistencia al congelamiento y deshielo deberá basarse en su resistencia e impermeabilidad. Las mezclas de CCR de altas resistencias con bajas permeabilidades tienen una mayor resistencia al congelamiento - deshielo que las mezclas pobres de bajas resistencias.

Si las mezclas de CCR son diseñadas por durabilidad, empleando ensayos de pérdida de peso por congelamiento-deshielo y criterios como los desarrollados para suelo - cemento, se espera una durabilidad aceptable frente a procesos de congelamiento y deshielo. La cantidad de cemento necesaria para producir una mezcla de CCR lo suficientemente durable, puede ser mayor que la requerida para alcanzar otras propiedades, tales como la resistencia a la compresión. Cuando las superficies horizontales del CCR serán expuestas a ciclos tempranos de congelación y deshielo, es recomendable no realizar el reemplazo de cemento por puzolana o de lo contrario hacerlo en pequeñas proporciones, debido a las altas resistencias iniciales que se requieren en estas condiciones.

2.5.2.8 PESO UNITARIO

El peso unitario o densidad depende principalmente de la gravedad específica de los agregados y de la cantidad de vacíos en la masa del CCR. En el CCR hay poca cantidad de vacíos de aire retenido generalmente estas cantidades oscilan entre 0.5 a 2.0 %, reducidos por la gran compactación. Esto significa que existe una mayor cantidad de sólidos en un volumen unitario de CCR, por lo tanto el peso unitario es generalmente mayor (aproximadamente de 1 a 3 %) que en el concreto convencional hecho con agregado de la misma gravedad específica. Pesos unitarios mayores que 2400 Kg/m^3 son comunes para CCR.

2.5.2.9 COMPORTAMIENTO FRENTE A LA FATIGA

Como el concreto convencional y otros materiales de construcción, el CCR es sujeto a los efectos de fatiga. La falla por fatiga es definida como la ruptura del material después de cargas aplicadas continuamente y repetidas que causan esfuerzos menores del esfuerzo del material. Resultados de ensayos de fatiga sobre vigas de mezclas de CCR, indican que la fatiga de CCR es similar a la del concreto convencional.

2.6 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

2.6.1 GENERALIDADES.

Al concreto de consistencia seca también se le denomina sin asentamiento, con asentamiento cero o con asentamiento negativo. Se ha desarrollado para aplicaciones en las cuales es posible la transferencia de alta energía durante la colocación del concreto, así como en los casos donde se desean bajos contenidos de material cementante para reducir fenómenos ocasionados por el calor de hidratación del cemento y la contracción del concreto, por ejemplo la construcción de presas con concreto compactado con rodillo.

La determinación de los casos en que resulta conveniente utilizar concreto de consistencia seca está asociada con los costos de cada proyecto, que incluyen los costos de la materia prima, de mano de obra y de los equipos necesarios.

2.6.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La mayoría de las consideraciones para diseñar concreto de consistencia seca son iguales a las de concreto de consistencia plástica y por lo tanto, se requiere dosificar la mínima cantidad de agua de acuerdo con los requerimientos de colocación, consolidación y acabado para tener influencia favorable en resistencia y durabilidad. El volumen de agua

en las mezclas secas para proporcionar una consistencia determinada es función de la combinación de agregados y no varía según el contenido de cemento.⁹

El esfuerzo promedio requerido necesario (f'_{cr}) para asegurar el esfuerzo especificado para un trabajo en particular, depende del grado de control de todas las operaciones involucradas en la producción y ensayos del concreto. Para una guía completa se debe consultar el ACI 214R-02 (Evaluación de los resultados de la prueba de resistencia del concreto), donde se especifica la forma de calcular el esfuerzo promedio requerido (f'_{cr}), en el Capítulo 4, Sección 4.3 y el Comité ACI 318 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural) en el Capítulo 5, Sección 5.3.2.

Los comentarios contenidos en el ACI 211.1 (Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal) pueden ser aplicados para este tipo de concreto, entre ellos: la descripción de los materiales, las diferencias de proporcionamiento de los ingredientes y la necesidad de las propiedades físicas de los agregados y los materiales cementantes.

El comité ACI 211.3 “Guía para la Selección de Proporcionamiento de Concreto sin Revenimiento”, establece una metodología para el diseño de concreto sin revenimiento igual a la del concreto de consistencia plástica, en la cual, a partir de la consistencia deseada se determina la cantidad de agua dependiendo del tamaño máximo del agregado,

⁹ Revista ISCYC “Concreto de consistencia seca: una alternativa constructiva” Edición # 58

se establece el volumen de agregados, se elige la relación agua/cementante y por último se define el contenido de cemento.

Además de consideraciones sobre el contenido de pasta, debe tenerse en cuenta que la graduación sea continua y que el contenido de arena sea el mínimo posible. Las normas para producción de concreto de consistencia seca son menos exigentes en cuanto a los requisitos de gradación de los agregados, pero más rigurosas en cuanto a la variabilidad de la misma, por lo que generalmente es necesario ajustar con mayor frecuencia la proporción de los agregados.

Las consideraciones de durabilidad son aplicables dependiendo del tipo de producto y del medio ambiente local, por lo que deben verificarse los siguientes requisitos en el momento de diseño:

- Relación agua/cemento.
- Resistencia a compresión.
- Uso del mayor tamaño máximo consistente con la disponibilidad, colocación y resistencia.
- Dosificación para que pueda ser eficientemente consolidado.
- Geometría de los elementos.
- Tipo de cemento y materiales cementantes acordes con la exposición.
- Recubrimiento mínimo de acero.

2.6.3 SELECCIÓN DEL METODO DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR.

Existen dos métodos propuestos por el comité ACI 211.3 para seleccionar proporciones de mezclas de CCR.

El primero es recomendado primordialmente para el uso en la selección de proporciones para mezclas delgadas/livianas, las cuales típicamente contienen un tamaño máximo nominal de agregado de 37.5 mm (1 - ½ pulg) o más y son para ser usados en secciones relativamente masivos (Presas). Este método se basa en proporcionar CCR para cumplir con los límites especificados de consistencia.

El segundo método es recomendado para proporcionar mezclas para secciones relativamente delgadas como pavimentos o losas. Este se basa en proporcionar CCR usando los conceptos de compactación de suelos, y está limitado para el uso de aquellas mezclas que contienen una tamaño máximo nominal de agregado de 19 mm (3/4 pulg.) o menos.

2.6.4 MÉTODO 1: PROCEDIMIENTO PARA PROPORCIONAR CCR PARA CUMPLIR CON LOS LÍMITES ESPECIFICADOS DE CONSISTENCIA.

Este método usa el ensayo Vebe modificado, como la base para la determinación de la trabajabilidad óptima y proporciones de los agregados. El equipo utilizado por esta metodología es el que se muestra en la Figura N° 2.13.

El tiempo de vibración para la consolidación plena es medido y comparado con el ensayo de compactación en campo, hechos por rodillos vibradores. El tiempo deseado es determinado en base a los resultados de los ensayos de densidad y evaluación de núcleos.

FIGURA N° 2.13. DOSIFICACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO VEBE MODIFICADO.



Fuente: Ensayos de Control en el Hormigón, pagina web <http://www.slideshare.net/mfvalarezo/ensayos-8606120>

El tiempo de vibrado es influenciado por un número de parámetros de la mezcla:

- ✓ El contenido de agua
- ✓ Combinación de graduación de agregados
- ✓ Tamaño Máximo Nominal de los agregados
- ✓ Contenido de finos
- ✓ Contenido de material más fino que la malla 75 μ m (N° 200).

Las mezclas que contienen arenas relativamente limpias para concreto y graduaciones fijas de agregados con tamaño máximo nominal de 1-1/2 pulg generalmente requieren de 15 a 30 segundos para consolidarse completamente.

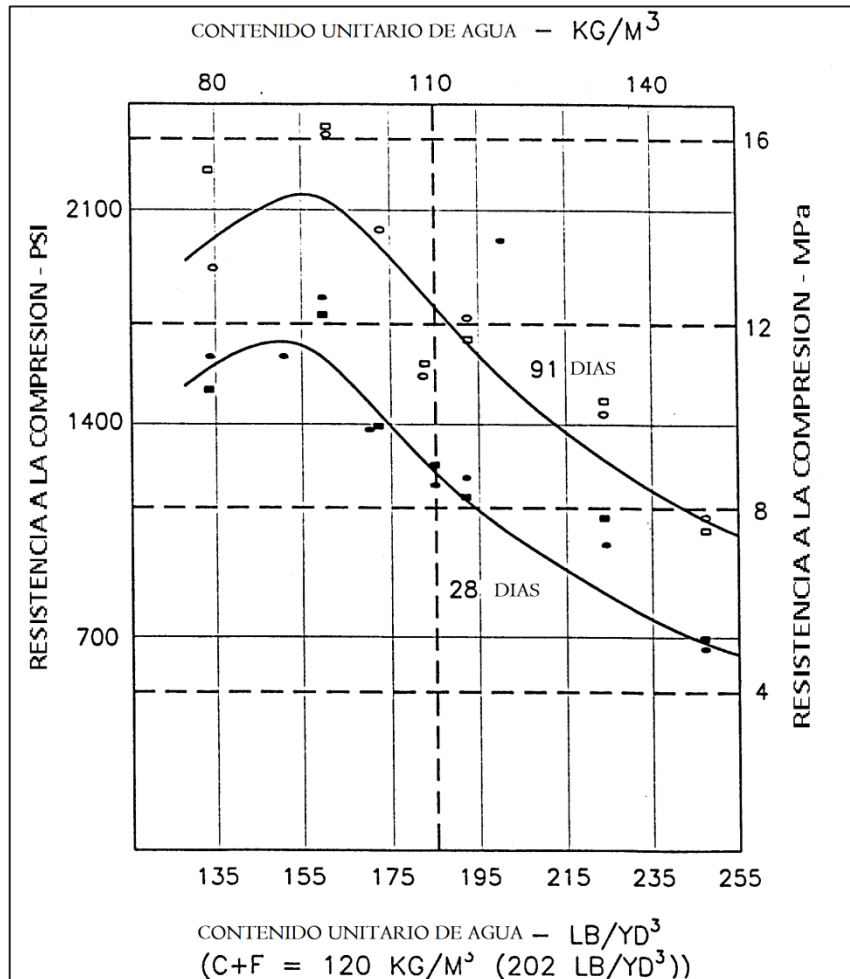
2.6.4.1 CONTENIDO DE AGUA

El contenido óptimo de agua de una mezcla dada es aquella donde su variabilidad tiene el mínimo efecto sobre el esfuerzo de compactación para una consolidación completa. Si el contenido de agua de una mezcla es muy bajo, los vacíos de los agregados no serán rellenados con la pasta y la resistencia de la mezcla decaerá aunque el valor de a/c haya bajado.

Aquellas mezclas con volúmenes de pasta en exceso, los volúmenes de vacíos de los agregados se consolidarán completamente al 98 % de sus densidades teóricas como lo establecido en el ASTM C 138 (Método de ensayo estándar para densidad (Peso unitario), volumen y contenido de aire (Método gravimétrico) en mezclas de concreto).

Variaciones en los contenidos de agua de mezcla directamente afectaran el esfuerzo de compactación requerido para lograr una compactación completa. La Figura N° 2.14 muestra un ejemplo de la variación de la resistencia con los contenidos de agua para un contenido de materiales cementantes fijo.

FIGURA N° 2.14 – RELACIÓN ENTRE UNIDAD DE CONTENIDO DE AGUA Y ESFUERZO COMPRESIVO DE UNA MASA DE CONCRETO



Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”
Apéndice 4, Sección A4.6.2, Pág. 15.

2.6.4.2 CONTENIDO DE MATERIALES CEMENTANTES.

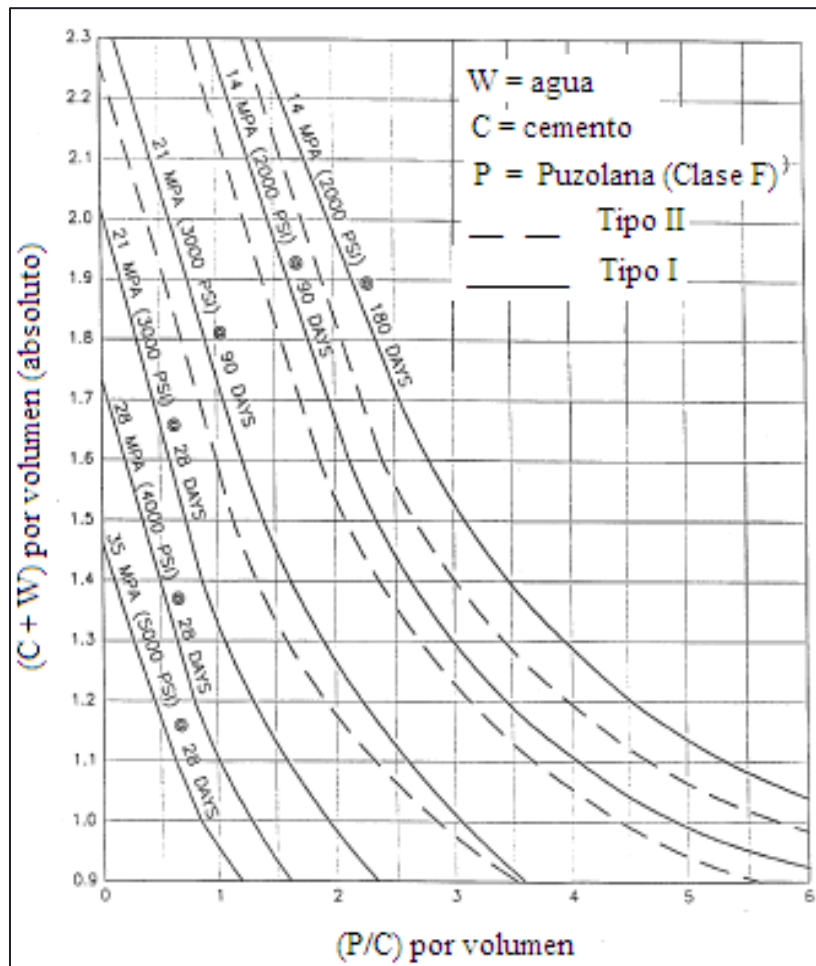
El contenido de materiales cementantes usado en mezclas de CCR depende de la resistencia especificada, requerimiento de adherencia entre las capas, y consideraciones térmicas. Para un contenido de materiales cementantes dado, la resistencia a una cierta edad será maximizada cuando el volumen de la pasta es la suficiente para llenar los vacíos de agregados.

La resistencia será reducida si el volumen de pasta no es la suficiente para llenar los vacíos de aire atrapado o si el contenido de agua es incrementado que crea un exceso de pasta y eleva el valor de a/c . Por lo tanto, mientras se incrementa el contenido de pasta, el contenido de agua puede ser reducido y la resistencia optimizada sin perder la trabajabilidad. Para la mayoría de cementos de los tipos I y II del ASTM C 150 (Especificación estándar para Cemento Portland), la Figura N° 2.15, puede ser usada como una guía de proporcionamiento para resistencias iguales de CCR, para proporciones variantes de cemento portland y puzolanas Clase F según ASTM C 618 (Especificación estándar para ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para concreto). Resultados similares pueden ser esperados con otras puzolanas.

El uso de ensayos del esfuerzo compresivo del mortero también se ha encontrado ser útiles para determinar la a/c , requerido en consideraciones de resistencia/esfuerzo. Una

vez el mortero es proporcionado para cumplir con los requerimientos de resistencia, porcentajes variantes de mortero y de agregados gruesos pueden ser proporcionados para lograr una trabajabilidad dada y así medida por el tiempo Vebe.

FIGURA N° 2.15: CURVAS DE PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO RESISTENCIAS-IGUALES. ESTAS DETERMINACIONES ESTÁN BASADAS SOBRE EL MORTERO REQUERIDO POR UNIDAD DE VOLUMEN CCR.



Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporciónamiento para concreto sin revenimiento" Apéndice 4, Sección A4.6.2, Pág. 15.

2.6.4.3 CONTENIDO DE FINOS.

El contenido de vacíos de finos, normalmente oscila en los rangos de 34 a 42 %. El volumen mínimo de pasta puede ser determinado por las curvas de máxima densidad en casi la misma manera como el contenido óptimo del agua es determinado en suelos. Los finos son adicionados en incrementos iguales de pasta proporcionada con la relación a/c determinado para la mezcla, y las medidas de densidad son hechas usando el ensayo descrito en la ASTM D 1557 (Método de prueba estándar para características de compactación en laboratorio de suelos usando esfuerzos modificados). Los valores de densidad son graficados contra los valores de volúmenes de pasta calculados y el volumen de pasta que genera la densidad máxima de los especímenes de mortero. El volumen de pasta, como una razón del volumen del mortero total, debe de ser incrementado del 5 al 10 % para la masa de mezclas de concreto, y de un 20 a 25 % para aquellas mezclas designadas para el uso cuando un mortero de adherencia no es usado entre losas horizontales de CCR.

2.6.4.4 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

Para cualquier TMN, el volumen mínimo de agregado para producir una consistencia sin revenimiento puede ser determinado con proporcionar la fracción de mortero que ceda la resistencia aproximada que es requerida y luego ajustando las proporciones de los agregados gruesos y mortero para lograr un revenimiento cero. Una vez que la relación

agregado grueso–mortero haya cedido, un revenimiento cero ha sido determinado, el agregado grueso puede ser incrementado hasta que la relación es alcanzada y resultado del tiempo Vebe modificado es el requerido. El volumen absoluto para agregado grueso por unidad de volumen de CCR generalmente estará dentro de los límites de la Tabla N° 2.12.

TABLA N° 2.12: VOLÚMENES ABSOLUTOS RECOMENDADOS DE AGREGADOS GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CCR.

Tamaño Máximo Nominal de agregado, mm (in)	Volumen absoluto, % de volumen CCR
150 (6)	63 a 64
115 (4-1/2)	61 a 63
75 (3)	57 a 61
37.5 (1-1/2)	52 a 56
19 (3/4)	46 a 52
9.5 (3/8)	42 a 48

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento” Apéndice 4, Sección A4.6.2, Pág. 16.

2.6.4.5 PASOS PARA PROPORCIONAMIENTO.

Paso 1: Selección de la Consistencia

Valores recomendados con respecto al ensayo Vebe son dados para diferentes consistencias, las cuales se muestran en la Tabla N° 2.13:

**TABLA N° 2.13: COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA
PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.**

Descripción de consistencia	Revenimiento (mm)	Tiempo Vebe (s)
Extremadamente Seca	-----	18 a 32
Muy Seca	-----	10 a 18
Seca	0 a 25	5 a 10
Semi Plástica	25 a 75	3 a 5
Plástica	75 a 125	0 a 3
Muy Plástica	125 a 190	-----

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”
Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 9.

Paso 2: Selección del Tamaño Máximo de Agregado, según el uso que se le dará al concreto. Generalmente para pavimentos el Tamaño Máximo del agregado es de $\frac{3}{4}$ pulg mientras que para presas el Tamaño Máximo es de 6 pulg¹⁰

Paso 3: Resistencia promedio requerida, Según el tipo de obra y las consideraciones estructurales, la resistencia de diseño pueden variar. Para pavimentos las resistencias son cercanas a 280 - 420 kg/cm²; en presas las resistencias oscilan entre 70 a 320 kg/cm².

La decisión del diseñador, basada en su conocimiento de las condiciones que prevalecerán, es la usada en el diseño, la cual permite cierta probabilidad de ensayos que caen por debajo de f_c .

¹⁰ Ver literal 2.3.4.1 Pavimentos y 2.3.4.2 Presas de este documento

Tanto el código ACI 318, como el ACI 214 proveen una guía para estos propósitos, como lo hacen otros códigos y especificaciones de construcción.

Para satisfacer los requerimientos de desarrollo de resistencia, la Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr}) debe ser superior a la Resistencia de Diseño (f'_c) del CCR. Esta cantidad depende de la variabilidad esperada en resultados de ensayos, expresada a través de un coeficiente de variación o desviación estándar y sobre la proporción permisible de ensayos bajos.

Según el ACI 318S-05 Capítulo 5, la Resistencia Promedio Requerida usada como base para la dosificación del concreto debe ser determinada de la tabla N° 2.14, cuando hay valores disponibles de desviación estándar.

TABLA N° 2.14: RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_{cr} \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones: $f'_{cr} = f'_c + 1.34 s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33 s - 3.5$
$f'_{cr} \geq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones: $f'_{cr} = f'_c + 1.34 s$ $f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33 s$

Fuente: Comité ACI 318S-05 "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural"
 Capítulo 5, Sección 5.3.2.1, Pág 66.

Cuando se utilice la desviación estándar, existen dos maneras para calcularla:

Cuando se tiene un registro de ensayos mayor a 30 cilindros y cuando se tiene un registro de ensayos entre 15 a 29 consecutivos.

Cuando se tiene un registro de más de 30 ensayos la desviación estándar se debe calcular con la ecuación (2.1).

$$S_s = \frac{\sum x_i - x}{n - 1}^{1/2} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

S_s : Desviación estándar de la muestra, Mpa

X_i : Ensayo individual de resistencia

x : Promedio de n resultados de ensayos de resistencia

N : Numero de ensayos consecutivos de resistencia

Si se disponen de menos de 30 ensayos pero más de 15, el valor de la desviación deberá de afectarse por un factor, basado en el número de ensayos. Estos factores se muestran en la tabla N° 2.15

TABLA N° 2.15: FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 ENSAYOS.

Numero de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	Emplear la tabla N° 2.16
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.0

Fuente: Comité ACI 318S-05 “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural”
Capítulo 5, Sección 5.3.2.1, Pág 65.

Cuando no se tengas registros de ensayos de resistencia para el cálculo de la desviación estándar se debe determinar el f'_{cr} utilizando la tabla N° 2.16.

TABLA N° 2.16: RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_{cr} < 20$	$f'_{cr} = f'_{c} + 7.0$
$20 \leq f'_{cr} < 35$	$f'_{cr} = f'_{c} + 8.5$
$f'_{cr} > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_{c} + 5.0$

Fuente: Comité ACI 318S-05 “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural”
Capítulo 5, Sección 5.3.2.2, Pág 66.

Para este caso se desea obtener una Resistencia de Diseño de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ calculando la Resistencia Promedio Requerida f'_{cr} y tomando en cuenta que no se disponen de valores de desviación estándar se debe utilizar la tabla N° 2.16 (Resistencia

promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra).

Ejemplo:

Para una resistencia de diseño $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, determinar la Resistencia Promedio Requerida:

- Convirtiendo $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a MPa, obtenemos **$f_c = 27.47 \text{ MPa}$**

Este resultado esta dado para los valores entre $20 \leq f'_{cr} < 35$ por lo que se usara la ecuación:

$$f'_{cr} = f'_c + 8.5$$

- De esta manera obtenemos:

$$f'_{cr} = f'_c + 8.5$$

$$f'_{cr} = 27.47 + 8.5 = \mathbf{35.97 \text{ MPa}}$$

- Que convertidos a kg/cm^2 es:

$$f'_{cr} = \mathbf{366.67 \text{ kg/cm}^2}$$

Si se siguen las recomendaciones dadas en el ACI 214R-02, sección 4.3 “Criterios para requerimientos de resistencia”. La resistencia promedio requerida (f'_{cr}) para cualquier diseño puede calcularse a través de las ecuaciones 2.2 ó 2.3, y aproximadamente de las Figuras N° 2.16 ó N° 2.17, dependiendo de cuál de los dos valores estadístico, coeficiente de variación o desviación estándar, sea utilizado.

$$f'_{cr} = \frac{f'c}{1-tV} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$$f'_{cr} = f'c + t\sigma \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

f'_{cr} = resistencia promedio requerida.

$f'c$ = resistencia de diseño especificada.

t = constante que depende de la proporción de ensayos que pueden caer por debajo $f'c$

(De Tabla N° 2.17).

V = valor pronosticado del coeficiente de variación expresado como una fracción.

σ = valor pronosticado de la desviación estándar.

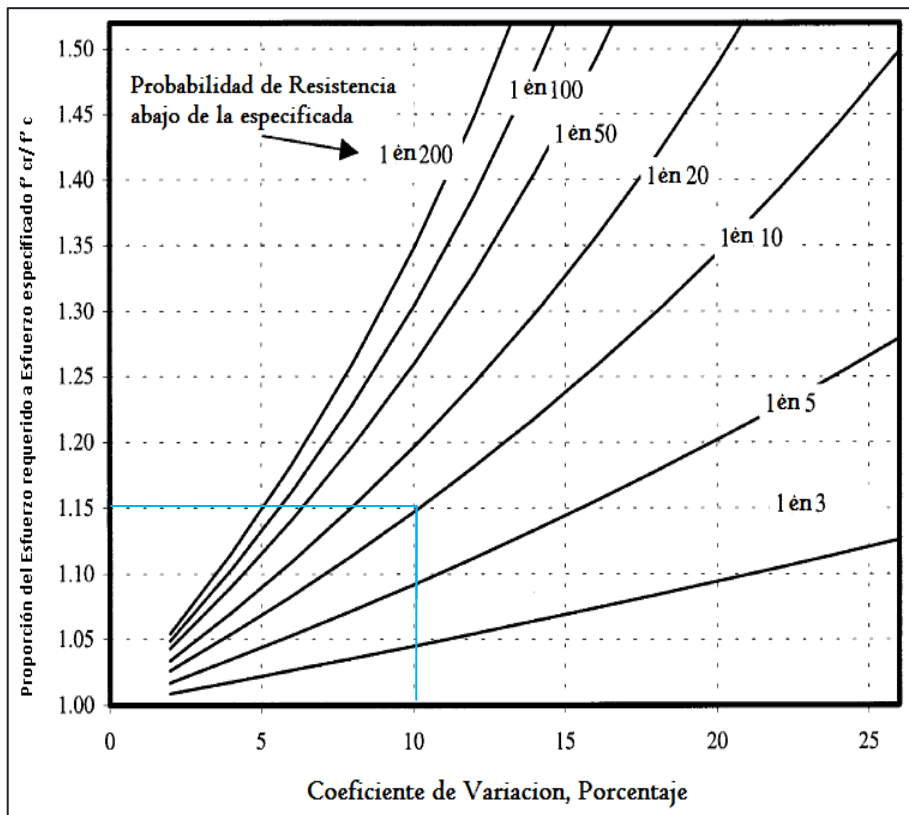
TABLA N° 2.17: VALORES DE “t” SEGÚN ACI 214R - 02

Porcentajes de ensayos dentro de los límites $X \pm t\sigma$	Posibilidades de caer por debajo del límite inferior	“t”
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Fuente: Comité ACI 214R-9 “Evaluación de los resultados de la prueba de resistencia del concreto”
Capítulo 4, Sección 4.3, Pág. 10.

También puede determinarse a través de las Figuras N° 2.16 y N° 2.17, dependiendo que de cuál de los dos estadístico, coeficiente de variación o desviación estándar, se utilizado.

FIGURA N° 2.16: RELACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f'_{cr} A RESISTENCIA ESPECÍFICA f'_c DE DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y LAS PROBABILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.



Fuente: Comité ACI 214R-9 "Evaluación de los resultados de la prueba de resistencia del concreto" Capítulo 4, Sección 4.3, Pág. 9.

Ejemplo:

Las consideraciones estructurales requieren un esfuerzo a la compresión de 4000 psi a 28 días; el coeficiente esperado de la variación de esfuerzos es del 10 %. Es requerido que no más de un ensayo de los 10 tenga valores debajo del esfuerzo de compresión de diseño la cual es de 4000 psi a 28 días. De la figura N° 2.16, el esfuerzo promedio requerido a 28 días deberá ser de $4000 \text{ psi} \times 1.15 = 4600 \text{ psi}$.

Si se resuelve a través de las ecuaciones tenemos:

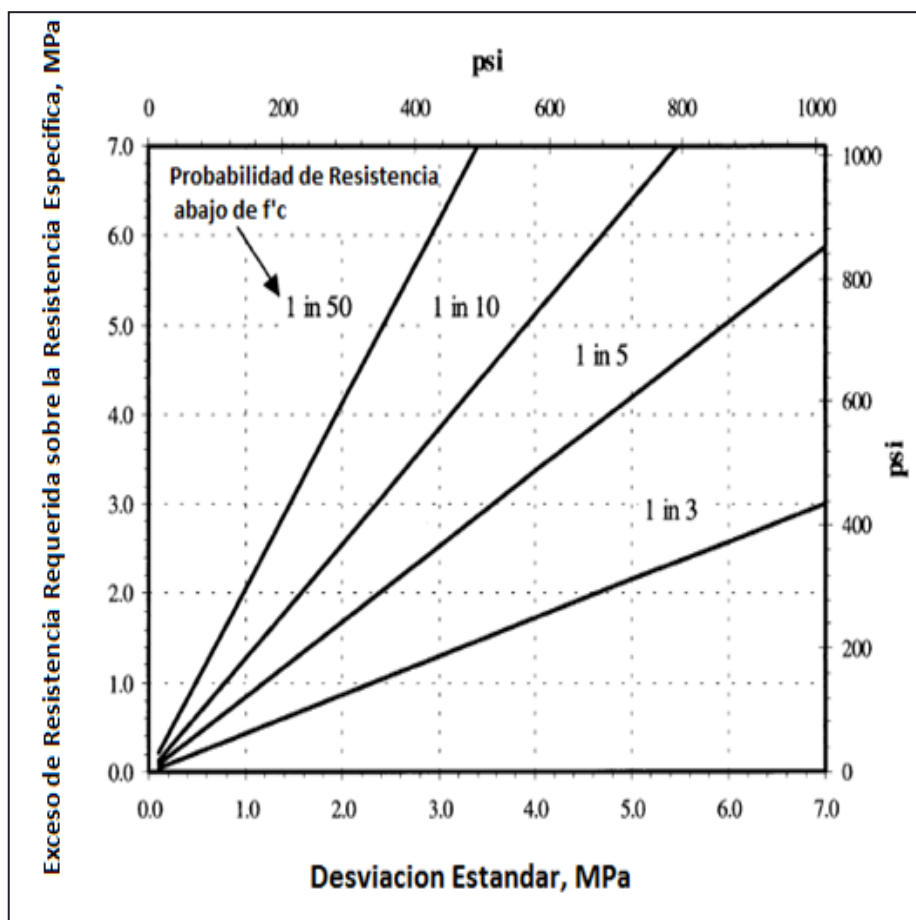
Utilizando la ecuación (2.1) cuando se tiene valores de coeficiente de variación, y tomando de la tabla N° 2.17, el valor de (t) para una probabilidad de caer por debajo del límite inferior de 1 en 10 el valor de $t = 1.28$. Sustituyendo los valores en la ecuación se tiene:

$$f'_{cr} = \frac{f'c}{1 - tV}$$

$$f'_{cr} = \frac{280}{1 - 1.28(0.10)} = 321.10 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia promedio requerida es: $f'_{cr} = 321.10 \text{ kg/cm}^2$

FIGURA N° 2.17: EXCESO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA, f'_{cr} , CON RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPECIFICADA, f'_c , PARA VARIAS DESVIACIONES ESTÁNDAR Y POSIBILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.



Fuente: Comité ACI 214R-9 "Evaluación de los resultados de la prueba de resistencia del concreto" Capítulo 4, Sección 4.3, Pág. 9.

Paso 4: *Determinar la relación agua-cemento (a/c) en peso*, necesaria para la resistencia (para una resistencia requerida en PSI, elegir la relación a/c según la Tabla N° 2.18).

Paso 5: *Determinar la cantidad aproximada de agua de mezcla necesaria para la consistencia, el tamaño máximo de agregado y el porcentaje de aire adicionado de la tabla N° 2.19.*

TABLA N° 2.18: RELACIONES ENTRE AGUA-MATERIAL CEMENTANTE Y EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

Resistencia a la compresión a 28 días, psi*	Relación agua- material cementante, en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0,33	-
6000	0,41	0,32
5000	0,48	0,40
4000	0,57	0,48
3000	0,68	0,59
2000	0,82	0,74

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”, Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 9

*Resistencia basada en moldes cilíndricos de 15x30 cm, curados a 28 días a 23 ±1.7 °C
En conformidad con la sección 9 de la ASTM C 31.

Paso 6: *Calcule la cantidad de material cementicio.*

El peso del material cementicio requerido, se determina dividiendo la cantidad de agua de mezclado final por unidad de volumen de concreto entre la relación agua/ material cementicio, Como se muestra en la ecuación N° 2.4.

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{\text{Agua de mezclado final}}{\text{relacion agua/material cementicio}} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Paso 7: *Determine la cantidad de agregado grueso.*

Para la determinación del volumen de agregado grueso; primero se debe conocer la cantidad de agregado grueso por unidad de volumen que se necesita para generar una consistencia plástica, el cual se determina de la tabla N° 2.20 (A), ingresando a dicha tabla con un módulo de finura del material con el cual se trabajará y un tamaño máximo de agregado. Luego se debe conocer el porcentaje equivalente de consistencia plástica para una consistencia deseada, el cual se determina de la tabla N° 2.20 (B); conocidos estos valores se multiplican entre si y se obtendrá la cantidad de agregado grueso total.

Paso 8: *Determinar la cantidad de agregado fino.*

El volumen absoluto del agregado fino es obtenido por:

- a) Calculando los volúmenes absolutos de materiales cementantes, agua, agregado grueso y aire en un metro cubico.
- b) La diferencia de la suma de estos volúmenes absolutos para un metro cubico.

El peso requerido en kg de agregado fino, es calculado entonces por la multiplicación de la densidad absoluta y el producto por 1000.

Paso 9: *Correcciones por humedad,* en el ensayo necesariamente deben hacerse correcciones por absorción, si los agregados se encuentran secos, o por el exceso de agua proporcionado por los agregados si ellos están húmedos.

TABLA N° 2.19: REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.

Consistencia			Contenido relativo de agua, (%)	Agua, kg/m ³ de concreto para tamaños máximos indicados de agregado grueso, mm				
Descripción	Revenimiento (pulg)	Tiempo Vebe (s)		10	15	20	25	40
<i>Concreto sin aire incluido</i>								
Extremadamente seca	-	18 - 32	78	178	169	157	148	139
Muy seca	-	10 - 18	83	187	187	169	157	148
Seca	0 - 1	5 - 10	88	199	193	178	169	157
Semi Plástica	1 - 3	3 - 5	92	208	199	187	178	163
Plástica	3 - 5	0 - 3	100	228	217	199	193	178
Muy Plástica	5 - 7 1/2	-	106	243	228	214	208	187
Cantidades aproximadas de aire atrapado en concretos sin aire adicionado, porcentaje				3	2,5	2	1,5	1
<i>Concreto con aire incluido</i>								
Extremadamente seca	-	18 - 32	78	157	148	139	133	125
Muy seca	-	10 - 18	83	169	157	148	139	133
Seca	0 - 1	5 - 10	88	178	169	157	148	139
Semi Plástica	1 - 3	3 - 5	92	187	175	166	157	148
Plástica	3 - 5	0 - 3	100	202	193	178	178	157
Muy Plástica	5 - 7 1/2	-	106	217	208	193	187	169
Recomendaciones promedios de contenido de aire total, porcentaje *				8	7	6	5	4,5
*Para consistencias menores de 25 mm, el volumen de aire atrapado puede ser menor que para mezclas de consistencias plásticas, ya que se pueden utilizar un aditivo gasificante, no así para las mezclas de consistencias secas.								

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento"
Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 9.

TABLA N° 2.20: (A) VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO DE CONSISTENCIA PLÁSTICA.

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso seco por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de arena				
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
15	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
40	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”

Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 10.

TABLA N° 2.20: (B) VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS.

Consistencia			Volumen de agregado grueso seco por unidad de volumen de concreto para tamaño máximo de agregado mostrados (expresados como un porcentaje de los valores mostrados en la Tabla N° 2.19 (A)).				
Descripción	Revenimiento (mm)	Tiempo Vebe (s)	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	40 mm
Extremadamente Seca	-	18 - 32	190	170	145	140	130
Muy seca	-	10 - 18	160	145	130	125	125
Seca	0 - 25	5 - 10	135	130	115	115	120
Semi Plástica	25 - 75	3 - 5	108	106	104	106	109
Plástica	75 - 125	0 - 3	100	100	100	100	100
Muy Plástica	125 - 190	-	97	98	100	100	100

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”,

Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 10.

2.6.4.6 EJEMPLO: PROPORCIONAMIENTO DE CCR PARA CUMPLIR CON LOS LÍMITES ESPECIFICADOS DE CONSISTENCIA.

Los requerimientos del esfuerzo a la compresión serán de 32 Mpa a los 28 días. El tamaño de la sección y el espaciamiento del acero de refuerzo será tal que un tamaño máximo de agregado de 40 mm puede usarse y una graduación del agregado grueso de 5 a 40 mm está disponible.

El peso seco varillado del agregado grueso es de 1602 kg/m³, una densidad bulk seca de 2.68 y una absorción de 0.5 %.

El agregado fino tiene una densidad bulk seca de 2.64 y una absorción de 0.7 % y un modulo de finura de 2.80.

Además, se tiene un registro de datos de experiencias anteriores con productos similares; se espera un coeficiente de variación de resistencia del 10 %.

Paso 1: *Selección de la Consistencia*

El concreto será expuesto a ciclos de hielo y deshielo, vibración interna y externa deberá aplicarse para lograr la compactación y permitir el uso de un concreto que tenga **consistencia muy seca**, cuando el ensayo de consistencia sea realizado, este deberá estar comprendido en un tiempo Vebe de 10 a 18 segundos (según tabla N° 2.13).

Paso 2: Selección del Tamaño Máximo de Agregado:

El tamaño máximo está limitado por el espaciamiento de los refuerzos y el tamaño de la sección, por lo cual se usara un tamaño máximo de 40 mm.

Paso 3: Resistencia del concreto requerida:

Como se tiene un registro de datos podemos calcular la Resistencia Requerida a través de dos maneras, con las formulas de la tabla N° 2.6 cuando el $f'c < 35$ Mpa.

O usando la grafica de la Figura N° 2.16 como se muestra a continuación:

Se espera un coeficiente de variación de esfuerzos del 10 % y que no mas de 1 ensayo de cada 10 tenga valores por debajo de la resistencia a la compresión de diseño la cual es de 32 Mpa a los 28 días. Es esfuerzo promedio requerido a los 28 días deberá ser de 32 Mpa x 1.15 = **37 Mpa** (según figura N° 2.16).

Paso 4: Determinar la relación agua-cemento (a/c):

la relación agua – material cementante (a/c) requerida para producir un esfuerzo a los 28 días de 37 Mpa con aire incluido, es determinado utilizando la tabla N° 2.18, para ello deberá hacerse la conversión a psi .

$$f'_{cr} = 37 \text{ Mpa} \frac{1 \text{ psi}}{0.0069 \text{ Mpa}} = 5362 \text{ psi}$$

Como este valor no está definido en la tabla será necesaria una interpolación, del cual se obtiene un resultado de **a/c = 0.37 en peso**.

Paso 5: Determinar la cantidad aproximada de agua de mezcla

La cantidad aproximada de agua de mezclado necesaria para producir una consistencia en el rango “Muy Seca” con aire incluido hecha con agregados de 40 mm está basada en la tabla N° 2.19 con un valor de **133 kg/m³**.

Para este concreto, **el contenido de aire será del 4.5 %**, según las recomendaciones de la tabla N° 2.19, este contenido de aire será producido por un aditivo gasificante. Un aditivo gasificado cuando es agregado a la mezcla como líquido, deberá ser incluido como parte del agua de mezclado. La nota en la tabla N° 2.19 hace un llamado de atención a los contenidos de aire para mezclas más secas. Para este concreto se asume un **contenido de aire del 3%** cuando las sugerencias de la nota son tomadas en cuenta.

Paso 6: Calcule la cantidad de material cementicio

La cantidad de material cementicio se calcula de la división de la cantidad de agua de mezclado (paso 5) y la relación a/c (paso 4)

El material cementante será entonces:

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{\text{Agua de mezclado final}}{\text{relacion agua/material cementicio}}$$

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{133}{0.37} = 360 \text{ kg/m}^3$$

Paso 7: Determinar la cantidad de agregado grueso

De la tabla N° 2.20 (A), para una tamaño máximo de 40 mm y un módulo de finura de la arena de 2.80, se obtiene un volumen de agregado grueso seco de **0.72 m³**, esta cantidad es requerida en cada metro cúbico de concreto teniendo una consistencia plástica (asentamiento de 75 a 100 mm)

De la tabla N° 2.20 (B), para una consistencia Muy Seca, el total de agregado grueso deberá ser **125 %** de aquellos para consistencia plástica.

El volumen total de agregados será: $0.72 \times 1.25 = 0.90 \text{ m}^3$

El peso del agregado grueso = volumen de agregado grueso x peso volumétrico varillado del agregado

Peso del agregado grueso seco = $0.90 \text{ m}^3 \times 1602 \text{ kg/m}^3 = 1442 \text{ kg}$

Paso 8: Determinar la cantidad de agregado fino

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso y aire establecido, la arena es calculada como sigue:

Volumen solido de cemento:
$$\frac{\textit{peso del cemento}}{\textit{gravedad específica seca del cemento}}$$

$$= \frac{360 \text{ kg}}{3.15 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.114 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua: } \frac{\textit{peso del agua}}{\textit{gravedad específica del agua}}$$

$$= \frac{133 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0.133 \text{ m}^3}$$

Volumen solido de agregado grueso:

$$\frac{\textit{peso del agregado}}{\textit{gravedad específica seca del agregado grueso}} = \frac{1442}{2.68 \times 1000} = \mathbf{0.538 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen de aire} = 0.03 \times 1.000 = \mathbf{0.030 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen total de los componentes excepto de la arena} = 0.114 + 0.133 + 0.538 + 0.030$$

$$\text{Volumen total de los componentes excepto de la arena} = \mathbf{0.815 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen solido de arena requerida: } 1 - 0.815 = \mathbf{0.185 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso requerido de la arena seca: } 0.185 \text{ m}^3 \times 2.64 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 488 \text{ kg}$$

$$\text{Agua absorbida por los agregados} = 488 \times 0.007 = 3.42 \text{ kg} +$$

$$1442 \times 0.005 = 7.21 \text{ kg} = \mathbf{10.63 \text{ kg}}$$

El agua absorbida por los agregados se le suma al agua de mezcla: 133 + 10.63

$$= \mathbf{144 \text{ kg}}$$

La estimación de cantidades por bachadas en base a pesos secos por m³ de concreto se presenta en la tabla N° 2.21:

TABLA N° 2.21: PROPORCION DE LOS MATERIALES PARA 1 m³

Material	Cantidad, kg
Cemento	360
Agua	144.31
Arena seca	586
Agregado Grueso seco	1442
Aire Atrapado	3 %
Total	2332.31

Fuente: los autores

2.6.5 MÉTODO 2: PROPORCIONAMIENTO USANDO LOS CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

2.6.5.1 GENERALIDADES

Este método de proporcionamiento involucra el establecimiento de una relación entre densidad seca y contenido de humedad de CCR por compactación de especímenes a un esfuerzo de compactación dado sobre el rango del contenido de humedad. Es similar al método usado para determinar la relación entre el contenido de humedad y densidad seca de suelos y mezclas de suelos con agregados.

**FIGURA N° 2.18: EQUIPO PARA ENSAYO, ASTM D 1557
(PROCTOR MODIFICADO).**



Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo Vial de Viceministerio de Obras Públicas, El Salvador, Septiembre 2003, pág. 5.

El equipo de compactación usado incluye un martillo de 4.5 kg (10 lb) con una caída de 457 mm (18 pulg) y un molde de acero con un diámetro de 152 mm (6.0 pulg) teniendo una altura de 116 mm (4.6 pulg) como se muestran en la figura N° 2.18. Ambos son descritos en el ASTM D 1557 (Método de Ensayo para Características de Compactación en Laboratorio de Suelo usando Esfuerzos Modificados). El método es apropiado para aquellas mezclas que tienen un TMN de 19 mm (3/4 pulg) o menos y contenidos de materiales cementantes mayores de los típicamente usados para mezclas de CCR para secciones masivas. Debería ser generalmente considerado su uso para proporcionar mezclas de CCR para secciones relativamente delgadas como pavimentos y losas. El esfuerzo de compactación a ser aplicado a los especímenes de densidad-humedad corresponde a lo descrito en el ASTM D 1557, Método D.

2.6.5.2 CONTENIDO DE MATERIALES CEMENTANTES.

El contenido de materiales cementantes es determinado por el esfuerzo compresivo o flexionante para el contenido óptimo de agua en diferentes mezclas. El contenido de materiales cementantes es expresado como un porcentaje de la masa seca de agregados. El contenido de materiales cementantes para pavimentos de CCR generalmente oscila por los rangos de valores de 10 a 17 %, dependiendo del esfuerzo y requerimientos de durabilidad. Este rango corresponde a aproximadamente de 210 a 360 kg/m³ o de 350 a 610 lb/yd³ de materiales cementantes.

2.6.5.3 CONTENIDO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.

Los agregados finos y gruesos deben ser mezclados para crear una combinación de graduación densa de agregados. Los límites de graduaciones recomendadas para tamaños de 19 mm (3/4 pulg) TMN a ser usado para pavimentos de CCR son dadas en la Tabla N° 2.22:

TABLA N° 2.22: LÍMITES RECOMENDADOS PARA COMBINACIONES DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS PARA PAVIMENTOS DE CCR.

Tamaño de malla	Porcentaje acumulado que pasa
25 mm (1 in)	100
19 mm (3/4 in)	82 a 100
12.5 mm (1/2 in)	72 a 93
9.5 mm (3/8 in)	66 a 85
4.75 mm (N° 4)	51 a 69
2.36 mm (N° 8)	38 a 56
1.18 mm (N° 16)	28 a 46
600 µm (N° 30)	18 a 36
300 µm (N° 50)	11 a 27
150 µm (N° 100)	6 a 18
75 µm (N° 200)	2 a 8

Fuente: Comité ACI 211.3R-02 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”
Apéndice 3, Sección A3.7, Pág. 18

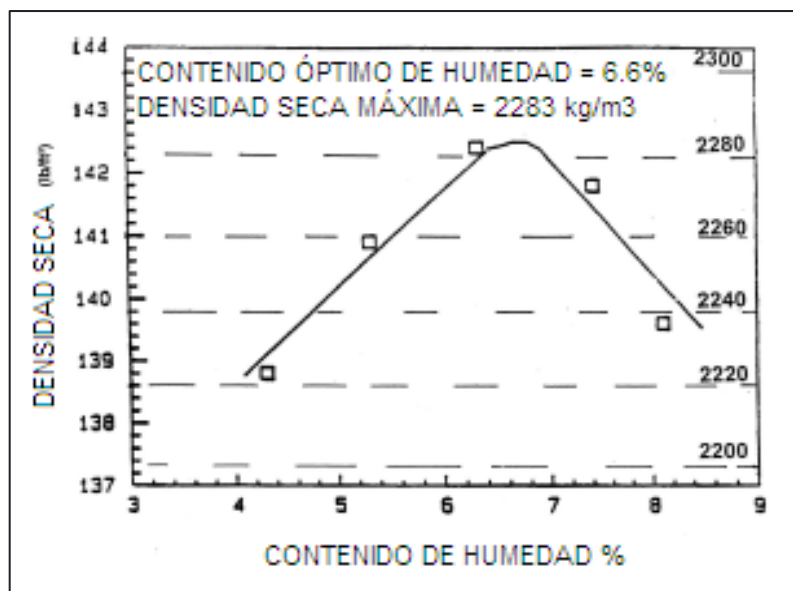
El volumen de agregados finos y gruesos por unidad de volumen de concreto son determinados después que el contenido óptimo de agua para los materiales cementantes y los agregados es determinado.

2.6.5.4 CONTENIDO DE AGUA.

Para un esfuerzo de compactación dado, el contenido óptimo de humedad de una mezcla depende de las propiedades de los agregados usados y del contenido de materiales cementantes. La pérdida de resistencia ocurrirá cuando el contenido de humedad este

debajo del óptimo. Esto se debe a la insuficiencia de pasta y la presencia de vacíos entre las partículas de los agregados. La pérdida de resistencia también ocurrirá si el contenido de humedad está significativamente arriba del óptimo debido a un incremento en la relación a/c. El contenido de humedad (por masa) es expresado como un porcentaje de la masa seca de la mezcla de los agregados y materiales cementantes y debe ser determinado según el ASTM C 566 (Método de ensayo estándar para el contenido de humedad total de agregado por secado). Después de completados los ensayos para contenidos aumentados de humedad, los datos de la densidad- húmeda son graficados y una curva suave se dibuja entre ellas. El punto o foco de la curva parabólica establece el contenido óptimo de humedad. (Figura N° 2.19).

FIGURA N° 2.19: RELACIÓN TÍPICO DE HUMEDAD-DENSIDAD SECA.



Fuente: Comité ACI 211.3R-02 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento"

2.6.5.5 PASOS PARA PROPORCIONAMIENTO.

Paso 1 – Combine los agregados finos y gruesos para producir una graduación dentro de los límites de la Tabla N° 2.22, de Aproximadamente 9 kg (20 lb) de los agregados combinados necesarios para cada ensayo de densidad húmeda.

Paso 2 – Seleccione un contenido de materiales cementantes de acuerdo a la resistencia a la compresión o flexión. Para pavimentos CCR se tienen resistencias a la flexión determinados de acuerdo con el ASTM C 78 (Método de Ensayo Estándar de Resistencia a la Flexión de Concreto utilizando vigas simples con carga en el tercio medio) de 4 a 5 MPa o de 600 a 700 PSI, el contenido de materiales cementantes usado debe de estar en el rango de 12 a 16 % por masa de agregado seco. El valor seleccionado dependerá parcialmente del tipo y tamaño de puzolana usado.

Paso 3 – Usando el agregado combinado y el contenido de materiales cementantes seleccionado, determine el contenido de humedad óptimo de CCR de acuerdo con el ASTM D 1557, método D. Un mínimo de 4 especímenes deben ser moldeados, y cada espécimen debe ser preparado de una sola bachada de CCR, para evitar un exceso de hidratación del cemento. Cada bachada debe de contener un contenido de humedad mayor al anterior. Esto se logra adicionando suficiente agua a cada bachada para incrementar el contenido de humedad de CCR, como un porcentaje de la masa seca de 0.75 al 1.0 %.

Paso 4 – Determine el contenido óptimo de humedad graficando la masa seca de cada espécimen contra su respectivo contenido de humedad y dibujando una curva suave por esos puntos (ver Figura N° 2.19). El contenido de humedad y densidad seca que corresponde al pico de esta curva, el cual es la humedad óptima.

Paso 5 – Asuma un contenido de aire atrapado de 2.0 %. (El valor actual puede ser calculado por resultados de ensayos de compactación y la curva de cero vacíos).

Paso 6 – Usando el contenido óptimo de humedad, el contenido de materiales cementantes seleccionado, y el valor de contenido de aire, calcule los volúmenes y las masas absolutas de los materiales para la unidad de volumen de concreto requerido.

Paso 7 – Seguir del paso 2 hasta el paso 6, usando un contenido de materiales cementantes más bajo y mas alto. Después de producir las bachadas para los contenidos óptimos de cada contenido de materiales cementantes, grafique resistencia contra el contenido de materiales cementantes para determinar el valor necesitado para las proporciones de mezcla finales. Siga de nuevo los pasos del 2 hasta la 6 con los contenidos de materiales cementantes seleccionados, para determinar el contenido optimo de humedad y re calcular los volúmenes de masas absolutas de los materiales.

2.6.5.6 EJEMPLO: UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS

Un pavimento de concreto es requerido para una terminal en un clima moderado. La resistencia a la flexión especificada es de 4.5 MPa (650 PSI) a los 28 días. Los bancos locales de agregados son capaces de producir fracciones de agregados amplios por lo cual cuando son mezclados, tendrán una buena graduación. Un tamaño nominal máximo de agregado de 19 mm (3/4 pulg) es seleccionada en base al tipo de equipo modificado para pavimentos lo cual esta anticipado para su uso. Cemento Portland Tipo I y ceniza volante Clase F están disponibles. Proporcione una mezcla de CCR lo cual puede ser compactado de tal forma que contenga no más de 2 % de vacios y alcance la resistencia requerida.

Paso 1 – Los agregados para el proyecto son dados en 2 grupos de tamaños: 4.75 a 19 mm (N° 4 a 3/4 pulg) y de 75 µm a 4.75 mm (N° 200 a N° 4). Ensayos de análisis de mallas indican que si 46% de los agregados gruesos es combinado con un 54 % de los agregados finos, se producirá una buena graduación de agregados según la tabla N° 2.22 mostrada. Agregados secos combinados (aproximadamente 20 lb) se harán en bachadas para la preparación de la producción de los especímenes de ensayo de compactación.

Paso 2 – Un contenido de materiales cementantes del 14 % por masa seca de agregados es inicialmente seleccionado para su uso (la cantidad de material cementante oscila entre el 12 % y 16 %). Un contenido de cenizas volantes del 25 % por volumen absoluto de

materiales cementantes también es seleccionado. Contenidos variante de materiales cementantes y de cenizas volantes deben ser considerados, dependiendo de los requerimientos especificados durante el estudio de las proporciones de mezcla.

Pasos 3 y 4 – Ensayos de compactación son llevados a cabo con el ASTM D 1557, Método D, con contenidos espaciados regularmente de humedad para CCR. La curva de densidad seca con humedad, indica que el contenido óptimo de humedad es de 5.8 % y la densidad seca máxima es de 2348 kg/m³ o de 146.5 lb/pie³.

Pasos 5 y 6 – las densidades bulk (en base a peso seco) de los materiales son:

Cemento = 3150 kg/m³ (196.56 lb/ft³)

Cenizas Volantes = 2450 kg/m³ (152.88 lb/ft³)

Agregado Grueso = 2716 kg/m³ (169.50 lb/ft³)

Agregado Fino = 2624 kg/m³ (163.72 lb/ft³)

Agua = 1000 kg/m³ (62.40 lb/ft³)

Los cálculos son dadas para las unidades del sistema SI y sus valores correspondientes de lb-pulg entre paréntesis. Las proporciones de los materiales (secos) usados en una bachada preparada con el contenido de humedad óptimo son (unidades SI):

Según el paso 1, la muestra para realizar cada bachada es de aproximadamente 9 kg (20 lb), y además se determinó que las cantidad de agregado grueso y fino para producir una

graduación óptima cumpliendo los límites de la tabla N° 2.22 es de 46 % y 54 % respectivamente.

Agregado fino:

Agregado Fino = cantidad para una bachada × % de agregado fino en decimal

$$\text{Agregado Fino en peso} = 9 \text{ kg} \times 0.54 = \mathbf{4.86 \text{ Kg}}$$

$$\text{Agregado Fino en Volumen} = \frac{\text{agregado fino en peso}}{\text{peso volumétrico seco}}$$

$$\text{Agregado Fino en Volumen} = \frac{4.86 \text{ Kg}}{2624 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.0185 \text{ m}^3}$$

Agregado Grueso:

Agregado grueso en peso =

cantidad para una bachada × % de agregado grueso en decimal

$$\text{Agregado grueso en peso} = 9 \text{ kg} \times 0.46 = \mathbf{4.14 \text{ kg}}$$

$$\text{Agregado grueso en Volumen} = \frac{\text{agregado grueso en peso}}{\text{peso volumétrico seco}}$$

$$\text{Agregado grueso en Volumen} = \frac{4.14 \text{ Kg}}{2716 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.00152 \text{ m}^3}$$

Volumen de materiales Cementantes =

$$\frac{\text{cantidad para una batchada} \times \text{contenido de material cementante}}{\text{peso volumétrico seco}}$$

$$\text{Volumen de materiales Cementantes} = \frac{9 \text{ kg} \times 0.14}{3150 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.0004 \text{ m}^3}$$

Se utilizara el 75 % de cemento y el 25 % de cenizas volantes, haciendo un total del 100 % del material cementicio necesario.

Cemento:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= (\text{volumen de cementante} \times \% \text{ de cemento}) \\ &\quad \times (\text{peso volumétrico del cemento}) \end{aligned}$$

$$\text{Cemento en peso} = (0.0004 \text{ m}^3 \times 0.75) \times 3150 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0.945 \text{ kg}}$$

$$\text{Cemento en volumen} = \frac{\text{peso del cemento}}{\text{peso volumétrico del cemento}}$$

$$\text{Cemento en volumen} = \frac{0.945 \text{ Kg}}{3150 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.0003 \text{ m}^3}$$

Ceniza Volante:

Ceniza volante = volumen de cementante × % de ceniza

× peso volumétrico de la ceniza volante

Ceniza volante en peso = $(0.0004 \text{ m}^3 \times 0.25) \times 2450 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0.245 \text{ kg}}$

Ceniza volante en volumen = $\frac{\textit{peso de la ceniza}}{\textit{peso volumétrico de la ceniza volante}}$

Ceniza volante en volumen = $\frac{0.245 \text{ Kg}}{2450 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.0001 \text{ m}^3}$

Agua = cantidad para una bachada × contenido óptimo de humedad

Agua = 9 kg x 0.058 = **0.522 kg**

Dividiendo por la densidad del agua para conocer el volumen en m³

$= \frac{0.522 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3} = \mathbf{0.000522 \text{ m}^3}$

Volumen total de bachada libre de aire = 0.004292 m³

Para 1 m³ de concreto:

Calcular el rendimiento de la mezcla = $\frac{\textit{un metro cúbico} - \% \textit{de vacíos}}{\textit{volumen total de bachada libre de aire}}$

$$\text{Rendimiento de la mezcla} = \frac{1 - 0.02}{0.004292} = \mathbf{228.33}$$

Multiplicamos el volumen de cada material por el rendimiento de la mezcla y se obtiene la cantidad por bachada, en la tabla N° 2.23 se muestran las cantidades para 1 m³:

Agregado Fino	= 0.00185 m ³ x 228.33	= 0.422 m ³
	= 0.422 m ³ x 2624 kg/m ³	= 1107 kg
Agregado Grueso	= 0.00152 m ³ x 228.33	= 0.347 m ³
	= 0.347 m ³ x 2176 kg/m ³	= 945 kg
Cemento	= 0.0003 m ³ x 228.33	= 0.069 m ³
	= 0.069 m ³ x 3150 kg/m ³	= 216 kg
Ceniza volante	= 0.0001 m ³ x 228.33	= 0.023 m ³
	= 0.023 m ³ x 2450 kg/m ³	= 56 kg
Agua	= 0.000522 m ³ x 228.33	= 0.119 m ³
	= 0.119 m ³ x 1000 kg/m ³	= 119 kg
Aire	= 0.02 m ³	

TABLA N° 2.23: **PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES PARA 1 m³**

Material	Cantidad, kg
Agregados Fino seco	1107
Agregados Gueso seco	945
Cemento	216
Ceniza Volante	56
Agua	119
Aire	2 %
Total	2443

Fuente: los autores

Paso 7 – Siga los pasos del 2 a 6 usando un contenido de materiales cementantes mayor y menor. Después de producir bachadas de prueba y los especímenes para resistencia a la flexión hayan sido moldeados y ensayados para los contenidos de humedades optimas para cada contenido de materiales cementantes, grafique el esfuerzo de flexión contra los contenidos de materiales para determinar los valores necesarios para las proporciones de mezcla finales. Siga los pasos de 2 a 6 de nuevo con los contenidos de materiales cementantes seleccionados para determinar el contenido óptimo de humedad y re calcule los volúmenes y masa absolutas de los materiales.

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA PARA EL TRABAJO EN LABORATORIO

3.1 INTRODUCCIÓN

Los buenos resultados de una investigación dependen de los procedimientos que se adopten y del orden en que estos se realicen.

El amplio conocimiento de los procesos necesarios y requerimientos mínimos que cada norma provee para realizar estos ensayos, aseguran datos confiables y convincentes.

En este capítulo se explica la metodología del trabajo experimental en el laboratorio que será desarrollado en las instalaciones del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Santa Elena, con el objetivo de estudiar las propiedades del CCR expuestas en el Capítulo I.

El trabajo experimental está estructurado en ocho etapas, agrupadas de forma lógica, con el fin de seguir una guía ordenada de procedimientos y de normativas correspondientes a cada ensayo. En estas etapas, se definen las propiedades a utilizar del concreto y las de la mezcla, basándonos en las normas ASTM y el Comité ACI 211.3; desde la selección de los materiales, hasta el análisis de resultados, así como los métodos que se emplearan para el moldeo de los cilindros, la forma de simbolización de los especímenes de ensayo que serán elaborados para cada edad y la forma de curado que se empleara.

3.2 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR

Para llevar a cabo esta investigación se utilizará una metodología basada en el control de calidad, de los agregados de la mezcla, como del concreto en sí, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Se desarrollará en ocho etapas, las cuales seguirán un proceso lógico de los estados del concreto. Como se describen a continuación:

ETAPA I: Selección de materiales a utilizar

ETAPA II: Pruebas de Laboratorio a los agregados para la mezcla

ETAPA III: Diseño de la Mezcla según ACI 211.3

ETAPA IV: Elaboración de la mezcla de CCR

ETAPA V: Ensayo al concreto Fresco

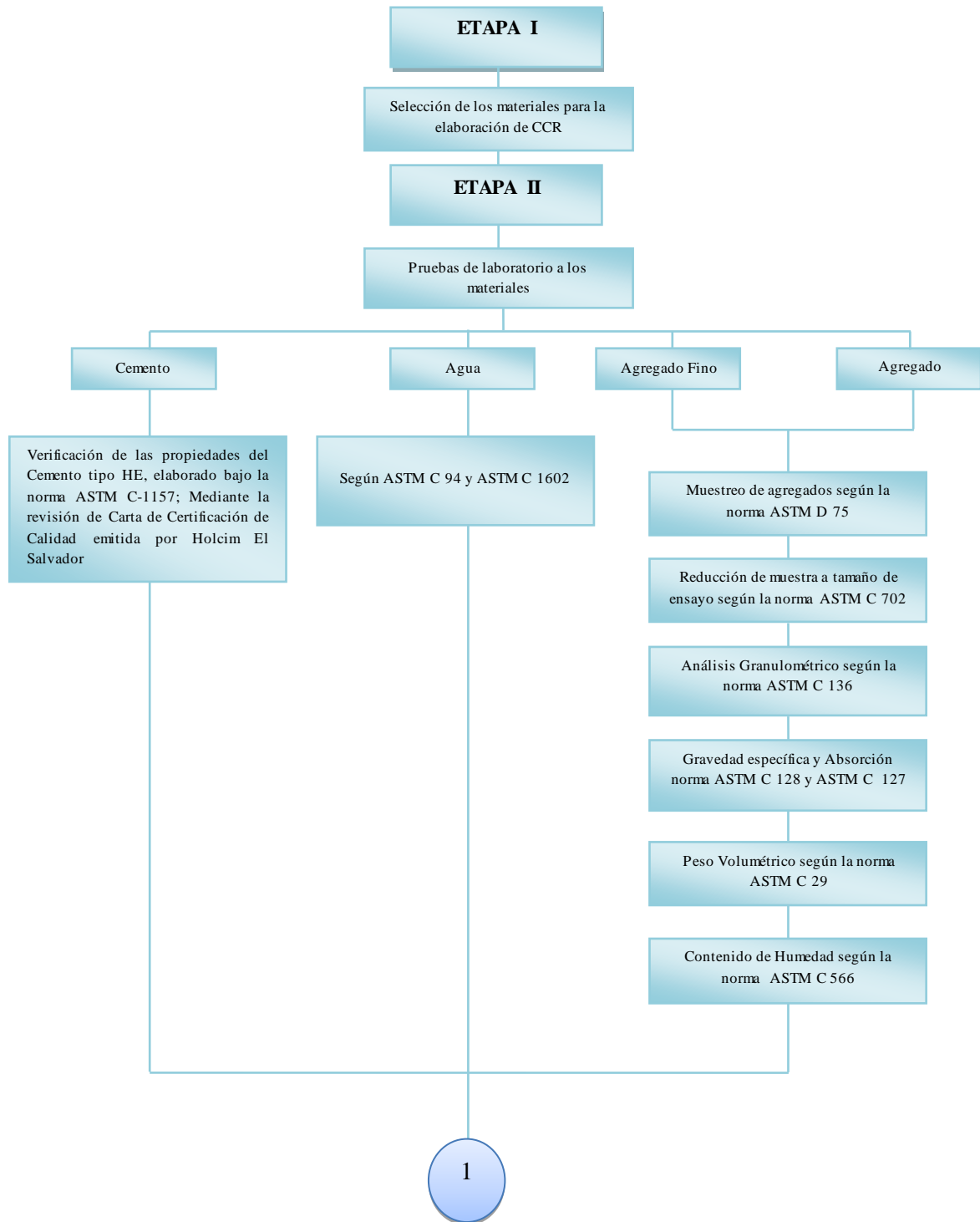
ETAPA VI: Elaboración de Especímenes

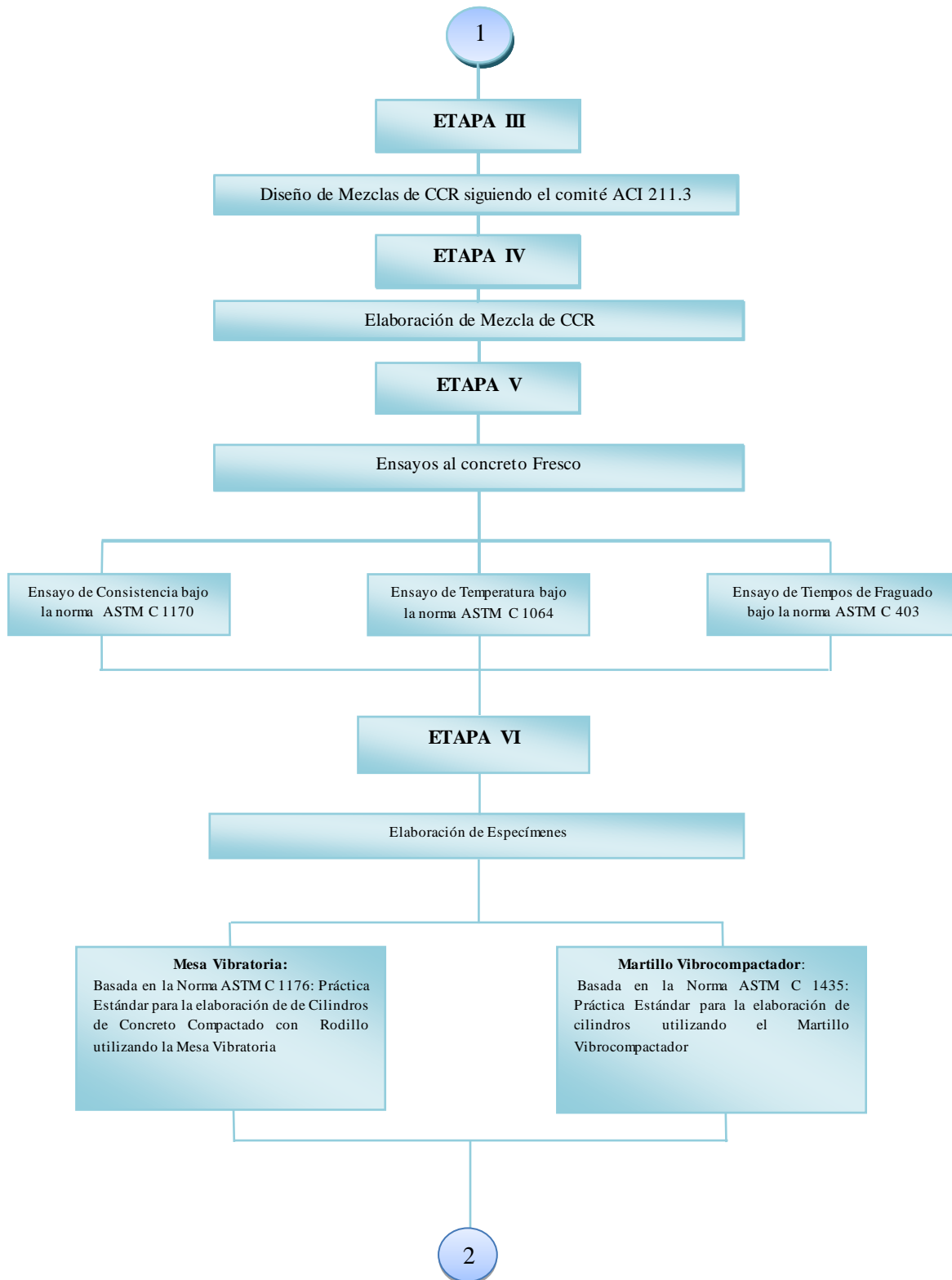
ETAPA VII: Ensayo al concreto endurecido

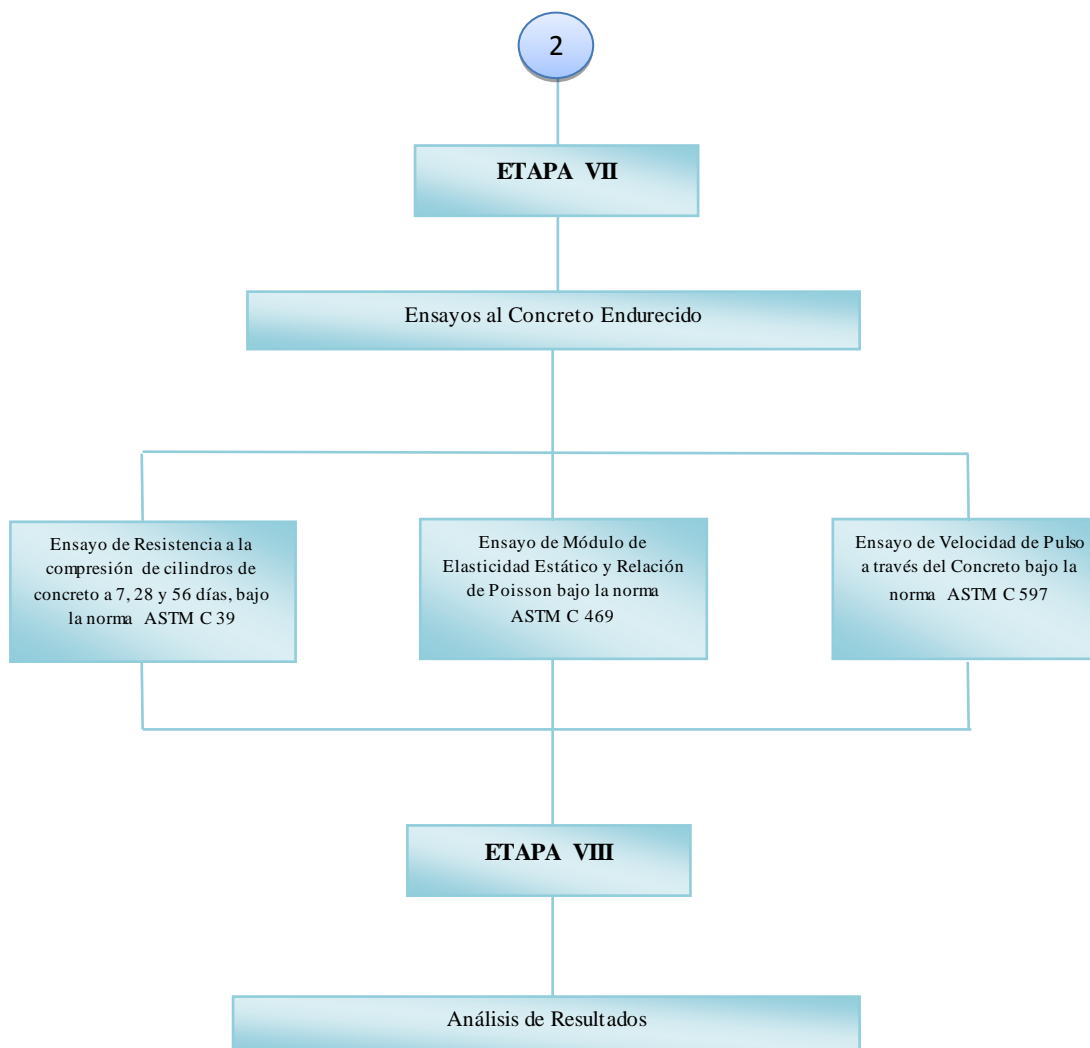
ETAPA VIII: Análisis de resultados

En la Figura N° 3.1 se muestra la secuencia de forma grafica del procedimiento del trabajo de laboratorio.

FIGURA N° 3.1: PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE LABORATORIO







3.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

El desarrollo exitoso de esta investigación dependerá en su mayoría de la metodología a utilizar en el diseño de una mezcla de concreto, que posea las características básicas del CCR como la consistencia seca (Tiempo Vebe de 5 - 10 s), y una resistencia de 280 kg/cm², donde sus componentes posean las mismas propiedades físicas en cada batchada

que se realice, y de esta manera tener un mejor control dentro de las variables para la mezcla.

El CCR, como se mencionó en el Capítulo II, tiene varias aplicaciones; para ser estudiado es necesario definir el uso que se le dará. En esta investigación tomaremos las consideraciones adecuadas para definirlo en el área de Pavimentos de concreto compactados con rodillo.

La ETAPA I, describe las características de los componentes de la mezcla a utilizar: agregados, agua y cemento, con estas se inicia la ETAPA II, en la cual se analiza la calidad de los materiales a utilizar en el concreto a través de ensayo en laboratorio: análisis granulométrico, peso volumétrico y gravedad específica de los agregados y del cemento. Con el objetivo de conocer los datos de entrada que exige el ACI 211.3 para el diseño de mezclas de CCR. Luego en la ETAPA III, se realizará el cálculo teórico del diseño, donde se obtendrá una dosificación adecuada según la resistencia esperada, la cual, posteriormente se analizará si cumple con los requisitos esperados de diseño, como su consistencia y resistencia, para poder reproducirla en cantidades mayores como se describe en la ETAPA IV, como una mezcla definitiva; analizando las características de la mezcla en estado fresco en la ETAPA V (consistencia, temperatura y tiempo de fraguado).

En la ETAPA VI, se realizarán probetas cilíndricas por medio de dos metodologías que ya han sido explicadas en el capítulo II:

- Mesa Vibratoria bajo norma ASTM C 1176: Práctica Estándar para la elaboración de Cilindros de Concreto Compactado con Rodillo utilizando la Mesa Vibratoria.
- Martillo Vibrocompactador bajo norma ASTM C 1435: Práctica estándar para la elaboración de cilindros utilizando el Martillo Vibro compactador.

Con la utilización de los dos métodos, se pretende generar una base de datos, que nos permita analizar, evaluar y comparar los resultados de resistencia a la compresión y posteriormente llegar a establecer una correlación entre ellos.

Estas probetas en estado endurecido serán posteriormente ensayadas a la compresión, modulo de elasticidad estático y velocidad de pulso a las edades de 7, 28 y 56 días como son detallados en la ETAPA VII, para ser analizados en la última etapa de toda la Metodología: ETAPA VIII, Análisis de Resultados.

3.3.1 ETAPA I: SELECCIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR

Los materiales que se usarán en la mezcla de concreto serán: Agregado grueso y fino, cemento y agua. No se hará uso de aditivos en la mezcla pues esta será de consistencia seca que aunque es muy poco trabajable, aun se puede manipular de cierta manera sin aditivos.

Como en toda investigación sobre concreto, las características de los componentes de la mezcla deben de determinarse antes de dar inicio al diseño de ella, ya que nos sirven como datos de entrada dentro de los cálculos de proporcionamiento.

3.3.1.1 AGREGADOS

Para la elaboración de CCR se busca que los agregados posean características adecuadas, para esto nos basaremos en la Especificación bajo la Norma ASTM C 33 (en el cual el agregado grueso cumplirá los requisitos de la Tabla 3.1 y Tabla N° 3.2 para agregado grueso y fino). El Comité ACI 325.10 nos da un rango de granulometrías, para este tipo de concreto aplicado a carreteras, como se muestra en la Figura N° 3.2, pero para este estudio solo nos basaremos en la ASTM C 33.

TABLA N° 3.1: REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN PARA AGREGADO GRUESO

Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	Porcentaje de masa que pasa las mallas (abertura cuadrada) % en peso.													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in)	75 mm (3 in)	63 mm (2½ in)	50 mm (2 in)	37.5 mm (1½ in)	25.0 mm (1 in)	19.0 mm (¾ in)	12.5 mm (½ in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No 4)	2.36 mm (No8)	1.18 mm (No 16)	300 µm (No 50)
1	90 a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 in)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm (2 in a No 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37.5 a 19.0 mm (1 ½ a to ¾ in)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm (1 ½ in a No 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25.0 a 12.5 mm (1 a ½ in)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25.0 a 9.5 mm (1 in a 3/8 in)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25.0 a 4.75 mm (1 in a No 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19.0 a 49.5 mm (¾ in a 3/8 in)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 15	0 a 5	...	...	...
67	19.0 a 4.75 mm (¾ in a No 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12.5 a 4.75 mm (½ in a No 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 in a No 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	9.5 a 1.18 mm (3/8 in a No 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4.75 a 1.18 mm (No 4 a No 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

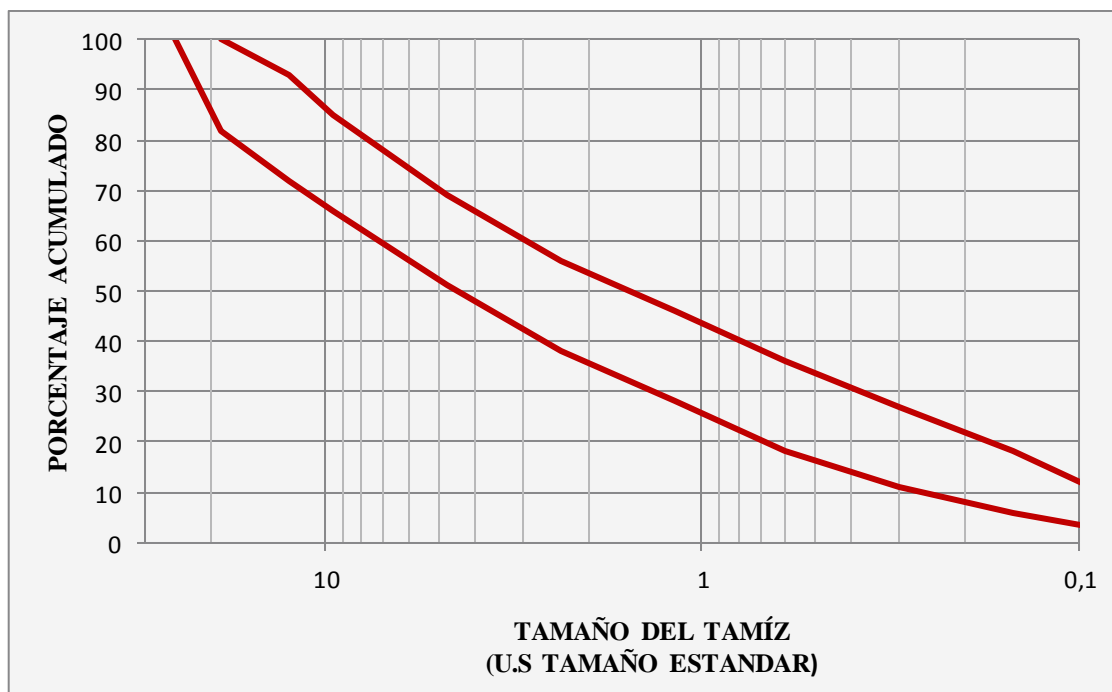
Fuente: Norma ASTM C 33 (Especificación estándar de agregados para concreto).

TABLA N° 3.2: REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN PARA AGREGADO FINO

Tamaño (Especificación E 11)	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	5 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma ASTM C 33 (Especificación Estandar de Agregados para Concreto)

FIGURA N° 3.2: CURVA TÍPICA DE GRANULOMETRÍA PARA PAVIMENTOS DE CCR



TAMAÑO DEL TAMIZ	1 in	¾ in	½ in	3/8 in	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA	100	83-100	72-93	66-85	51-69	38-56	28-46	18-36	11-27	6-18	2-8

Fuente: Comité ACI 325.10R-95. (Informe de Concreto Compactado con Rodillo para Pavimentos)

Se pretende que los agregados a utilizar procedan todos de una sola cantera, con el propósito que se mantengan las mismas propiedades de los agregados, y se determinó además realizar un acopio total del material que se utilizaría durante la investigación (como se muestra en la Figura N° 3.3), de esta manera se obtendría uniformidad en las características del agregado, que será específicamente procedente de Holcim El Salvador, Plantel del Rio Jiboa, Comalapa, La Paz; la cual está ubicada en el km 42 ½ de la carretera Antigua a Zacatecoluca.

FIGURA N° 3.3: ACOPIO DE MATERIALES



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

En la Región de La Paz, existen dos grandes áreas que están limitadas aproximadamente por el tramo de la carretera CA-2 entre Comalapa y el Rio Lempa. Al sur de la carretera las litologías están dominadas por sedimentos aluviales, depositados por los afluentes de la zona. Al norte de la carretera existe una serie de depósitos de cenizas, ignimbritas y lavas. Por el tipo de rocas y materiales que se encuentran en la Región de La Paz hay

muchos lugares donde los materiales son explotados principalmente para la construcción.

Esta cantera está formada por un banco sedimentario compuesto de rocas volcánicas que se han depositado ahí debido al arrastre del río Jiboa, en este yacimiento se encuentran tamaños de roca desde chispa y arenas hasta bolones de 42'' de diámetro, los cuales son triturados con una trituradora de mandíbula para reducir su tamaño y luego pasar a la zona de producción de los agregados para concreto.

En esta cantera existe un laboratorio de materiales, el cual se encarga de realizar los ensayos correspondientes a los agregados, para verificar su calidad y garantizar que estos cumplen con las especificaciones.

AGREGADO GRUESO

Se utilizará como agregado grueso **GRAVA**, con un Tamaño Máximo nominal de 3/4" descrita según ASTM C 33 como grava N° 67 y que cumpla como se mencionó anteriormente con dicha norma y el Comité ACI 211.3

Por su origen: Es definida como un "Agregado Natural", formado a partir de rocas ígneas o endógenas de tipo extrusivo, producto de la solidificación por enfriamiento rápido del magma fundido; geológicamente es definido como un basalto con una superficie fina de color negro.

Por el método de fragmentación: Se considera una “Grava Manufacturada” producto de la trituración artificial, que garantiza la forma, granulometría y limpieza del mismo.

Por el tamaño de las partículas: Se clasifica como un “Agregado Grueso” con tamaño máximo nominal de 3/4”.

Por sus propiedades químicas: Se considera un “Material Inerte”, es decir que no reacciona químicamente con los otros componentes del concreto.

Los requisitos que debe cumplir el agregado grueso, están basados en las especificaciones siguientes: Información que ha sido proporcionada por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto:

Análisis Granulométrico	Según ASTM C 33
Peso Unitario	1260 – 1750 kg/m ³
Gravedad específica y Absorción	2.4 < Gs < 2.9 Abs < 4%

AGREGADO FINO

Como material fino, utilizaremos **ARENA**, procedente del Río Jiboa y avalada por Holcim El Salvador. De los cuales no corroboraremos con ensayos de laboratorio la calidad de los mismos. Si no, nada más lo necesario para el diseño de mezclas.

Los requisitos que debe cumplir el agregado Fino son los siguientes, esta información ha sido proporcionada por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto:

Análisis Granulométrico ASTM C 33
 Gravedad Específica y Absorción 2.4 <Gs< 2.9 Abs < 6.0%

Por su origen: Es definida como un “Agregado Natural”, producto de la desintegración o fragmentación de rocas preexistentes por causa del intemperismo y erosión; su ubicación es producto del proceso de transporte y depósito por causas naturales en las riveras del cauce.

Por el método de fragmentación: Se considera una “Arena Natural” triturada únicamente por fuerzas de origen natural, sometida posteriormente a un proceso de sanidad a través de un lavado antes del acopio, por lo que se define como “Arena de Mediano Proceso”.

Por el tamaño de las partículas: Se clasifica como un “Agregado Fino” con partículas de tamaños menores a 4.75 mm (malla N° 4).

Por sus propiedades químicas: Se considera un “Material Inerte”, es decir que no reacciona químicamente con los otros componentes del concreto.

Cabe aclarar que las pruebas que se realizaran a los agregados son nada más las necesarias para llevar a cabo el diseño de la mezcla; estas se describirán en la Segunda Etapa.

3.3.1.2 CEMENTO

La calidad del cemento está apoyada en la carta de Calidad proporcionada por el fabricante durante el mes de Agosto de 2011, que comprende el periodo del trabajo experimental.

El tipo de cemento a utilizar esta fabricado según la Norma ASTM C 1157 tipo HE como lo especifica la sección 2.4.1.2 “Elección del Tipo de Cemento” de este documento, la selección se realizó acorde al uso que se le dará al CCR, por las características de este cemento y los requerimientos que en carreteras se desean, es propio para ser usado en este tipo de obras.

En el anexos A se presenta la carta de certificación de calidad proporcionada por el proveedor, las cuales garantizan la calidad del cemento.

Como muestra de verificación se corroborara la Gravedad Específica del Cemento, bajo la Norma ASTM C 188.

Para uso en Pavimentos:

El cemento que se utilizará será un cemento por desempeño, el cual está regido por la norma ASTM C 1157 Tipo HE, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final.

Este cemento alcanza resistencias a la compresión mayores a los 4200 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos estructurales para pavimentos.

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este cemento es principalmente adecuado para la construcción de pavimentos de concreto, estabilización de suelos y bases granulares.

3.3.1.3 AGUA

El agua a utilizar es la proporcionada por la Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), la cual posee antecedentes en la fabricación del concreto con buenos resultados; además, no se le aprecia olor, sabor, ni color; por tal motivo no se realizaron pruebas para verificar la calidad de ésta.

La norma ASTM C 94/C 94M (Especificaciones estándar para el concreto premezclado) permite el uso de agua potable para consumo humano como agua de mezclado en concreto sin el examen de conformidad con los requerimientos de esta especificación. El agua de mezclado que está total o parcialmente compuesta de fuentes de agua que no son potables son permitidas siempre y cuando se asegure el cumplimiento de la norma ASTM C 1602. La tabla N° 3.3 y Tabla N° 3.4 muestran los límites calificados de los requerimientos de dicha norma.

TABLA N° 3.3: REQUERIMIENTOS DE DESEMPEÑO DEL CONCRETO PARA EL AGUA DE MEZCLADO

	Límites	Métodos de Ensayo
Resistencia a compresión, % min, control a los 7 días ^{AB}	90	C 31/C 31M, C 39/C 39M
Tiempo de colocación, desviación del control, h:min ^A	1:00 antes, de la referencia ó 1:30 después.	C 403/C 403M
^A Las comparaciones serán basadas en las proporciones corregidas para un diseño de mezcla de concreto representativo del suministro de agua cuestionable y una mezcla de control usando un 100% de agua potable o agua destilada. ^B La fuerza a la compresión resultante estará basada en por lo menos dos especímenes estándar de ensayo hechos de una muestra compuesta.		

Fuente: Norma ASTM C1602/ C1602M – 06. Especificación Estándar para Agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

TABLA 3.4: LÍMITES QUÍMICOS OPCIONALES PARA EL AGUA DE MEZCLADO

	Límites	Método de Ensayo
Concentración máxima en agua de mezclado combinada; ppm ^B		
A. Cloruros como Cl, ppm		
1- En concreto pre-esforzado, cubiertas de puentes o designado de otra manera.	500 ^C	C 114
2- Otro concreto reforzado en ambientes húmedos o contenedores de aluminio empotrado o metales no semejantes o con metales galvanizados con la forma: stay-in-place	1,000 ^C	C 114
B. Sulfatos como SO ₄ , ppm	3,000	C 114
C. Álcalis como (Na ₂ O + 0.658K ₂ O), ppm	600	C 114
D. Total de sólidos por masa, ppm	50,000	C 1603
^A Límites especificados ^B ppm es la abreviación para partes por millón. ^C Los requerimientos para el concreto en ACI 318 gobernarán cuando el fabricante pueda demostrar que estos límites para el agua de mezclado pueden ser excedidos. Para condiciones que permitan el uso del acelerador cloruro de calcio (CaCl ₂) como una añadidura, es permitido que el solicitante renuncie a la limitación de cloruro.		

Fuente: Norma ASTM C1602/C1602M – 06. Especificación Estándar para Agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

3.3.2 ETAPA II: PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS PARA LA MEZCLA

Para conocer las propiedades de los agregados a utilizar en el diseño de mezcla, se llevarán a cabo las pruebas de laboratorio necesarias para poder realizar el diseño de mezcla, sin embargo, existen otras pruebas que son parte del control de calidad y que no se le realizarán a estos materiales.

Como parte del trabajo de laboratorio en esta investigación se realizarán las pruebas mostradas en la tabla N° 3.5.

La tabla N° 3.6 muestra las pruebas que son necesarias para el control de la calidad de los agregados y por consiguiente, buena calidad del concreto. Estas pruebas se deben realizar por medio de las normas ASTM correspondientes.

TABLA N° 3.5: ENSAYOS A REALIZAR A LOS AGREGADOS

Prueba	Norma
Muestreo de agregados	ASTM D-75
Reducción a tamaño de prueba	ASTM C-702
Análisis granulométrico	ASTM C-136
Gravedad específica y absorción	ASTM C-127 (agregado Grueso) ASTM C-128 (agregado fino)
Contenido de humedad	ASTM C-566
Peso volumétrico	ASTM C-29

Fuente: Los autores

TABLA 3.6: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS PARA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD, (NO SE REALIZARÁN)

Prueba	Norma
Impurezas orgánicas	ASTM C 40
Ensayo de sanidad de los agregados por sulfato de sodio	ASTM C 88
Resistencia al desgaste de agregado grueso de tamaño pequeño por impacto y abrasión en la máquina los Ángeles	ASTM C 131

Fuente: Los autores

3.3.2.1 MUESTREO DE AGREGADOS BAJO NORMA ASTM D 75.

El muestreo es importante al igual que la realización de un ensayo, la persona encargada que ha de realizarlo deberá hacerlo de forma correcta para que una porción de material que se obtenga del acopio de varias toneladas, presente las características y propiedades del agregado en su totalidad. La muestra seleccionada debe ser representativa de todo el

agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Esta acción se llevara a cabo con personal calificado del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

Según la Norma ASTM D 75, existen tres maneras de obtener muestras de un acopio:

1. Muestreo desde una Banda Transportadora
2. Muestreo desde un Apilamiento o Unidad de transporte
3. Muestreo desde la carretera (Bases y Sub-bases)

De las cuales las primeras dos son posibles de utilizar para este caso, pero por facilidad del método, se muestreara desde un Apilamiento, como se describe a continuación.

Muestreo desde un Apilamiento: Cuando la muestra se toma con el propósito de determinar las propiedades del agregado que puedan depender básicamente de la graduación de la muestra, la norma nos recomienda evitar este tipo de muestreo.

En todo caso, se debe hacer todo el esfuerzo para poder emplear de equipo mecanizado para desarrollar una separación, y poder muestrear pequeñas porciones de materiales tomados de varios niveles y localizaciones en el apilamiento. Estas porciones serán combinadas para formar la muestra de campo.

Como para este caso no será posible el equipo mecanizado, el muestreo será de la siguiente manera: Se toma un apilamiento y de este, se tomará al menos tres porciones:

una del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen del apilamiento, introduciendo una tabla vertical arriba del punto de muestreo para prevenir la segregación, como se muestra en la Figura N° 3.4. Se usara esta metodología para los dos materiales: grava y arena.

FIGURA N° 3.4: MUESTREO DE AGREGADOS DE UN APILAMIENTO



Fuente: Fotografía tomada en Plantel Comalapa, por personal del ISCYC

3.3.2.2 REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO BAJO NORMA ASTM C 702.

Después que se realice el muestreo en campo se llevará a cabo la reducción del material a un tamaño de muestra suficiente para realizar cualquier ensayo, éste proceso de reducción de muestra de campo a muestra de ensayo será necesario realizarlo con el equipo y procedimientos adecuados para poder garantizar que una muestra de unos cuantos gramos represente las mismas características y propiedades del agregado que se extrajo en el Plantel.

La norma ASTM C 702, propone tres maneras de reducir la muestra a tamaño de ensayo:

1. Cuarteo mecánico
2. Cuarteo manual
3. Cuarteo de un apilamiento miniatura

Para agregado grueso se utilizará el método del cuarteo mecánico, el equipo es mostrado en la Figura N° 3.5. Para el agregado fino se hará uso del método del cuarteo de apilamiento en miniatura.

FIGURA N° 3.5: CUARTEADOR DE AGREGADO GRUESO



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.2.3 ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO Y FINO BAJO ASTM C 136.

Este método se usará para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados y determinar si son aptos para su uso en el CCR.

La Norma ASTM C 136 proporciona los parámetros a seguir para la selección de la cantidad de la muestra según su tamaño nominal, los tamices a utilizar también están referidos al tamaño del agregado. Para conocer la granulometría pueden usarse dos métodos: el manual y el mecánico. La norma nos explica claramente el procedimiento de ambos. Para este ensayo, en el caso de la arena se realizará por el método mecánico mostrado en la figura N° 3.6 y la grava de forma manual.

FIGURA N° 3.6: TAMIZADOR MECÁNICO UTILIZADO PARA ARENAS



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN BAJO NORMA ASTM C 127 y NORMA ASTM C 128.

Según esta norma hay tres tipos de gravedad específica en los agregados, gravedad específica en masa (basada en el agregado seco), gravedad específica en masa (basada en el agregado superficialmente seco), gravedad específica aparente, todas se calculan como peso unitario de las partículas de agregados divididos entre el peso unitario del agua.

Para determinar la Gravedad específica existen varias maneras, descritas en la norma, para Agregado Grueso y Agregado Fino:

Para Agregado Grueso, tenemos el Método del Sifón, Método del Picnómetro y el Método de la Canastilla.

Para Agregado Fino, El Método del Picnómetro, Método de Le Chatellier y el Método de Matraces.

Para el caso, en el agregado Grueso se usará el Método de la Canastilla y para el Agregado Fino el Método del Picnómetro (Figura N° 3.7).

FIGURA N° 3.7: EQUIPO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS:

Equipo utilizado para arena

Método del Picnómetro



Equipo utilizado para grava

Método de la Canastilla



Fuente: Pagina Web de Servicios Profesionales de Ingeniería: www.spingenieria.net

3.3.2.5 CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO NORMA ASTM C 566.

En este ensayo, se determina el porcentaje de humedad evaporable de los agregados por secado. Esta norma permite el uso de diferentes aparatos como fuente de calor, los cuales pueden ser: un horno capaz de elevar la temperatura $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, placas calientes de gas o eléctricas, lámparas eléctricas de calor o un horno microondas. Para muestras pequeñas es permitido el uso de una placa caliente, no así para muestras grandes.

Cuando se use el plato de calentamiento y cocina se deberá mezclar la muestra de tal manera que se logre el secado uniforme y evitar la pérdida de partículas. Se deberá

permitir el enfriamiento después del secado y luego determinar la masa de la muestra seca. Existen varias metodologías para determinar la humedad de los agregados, en el caso de la grava se aplicara el método descrito anteriormente y en el caso de la arena se utilizara el Determinador de Humedad (MB45 Electrónico) que se muestra en la Figura N° 3.8 con el que cuenta el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

Este equipo es utilizado cuando se requiere determinar la humedad del agregado para cantidades pequeñas, por lo tanto se podrá hacer uso de él en esta investigación.

FIGURA N° 3.8: DETERMINADOR DE HUMEDADES ELECTRÓNICO MB45



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.2.6 PESO VOLUMÉTRICO BAJO NORMA ASTM C 29.

Bajo esta norma existen tres tipos de Pesos volumétricos que dependen del acomodamiento del material: Peso Volumétrico Suelto (P.V.S), el Peso volumétrico Varillado (P.V.V) y Peso volumétrico Compactado (P.V.C).

Para el caso, solo se llevará a cabo la práctica de laboratorio para conocer el Peso Volumétrico Suelto y Peso Volumétrico Varillado de la Grava, pues para el diseño de mezclas según el ACI 211.3, no es necesario conocer el Peso Volumétrico Suelto de la arena.

3.3.3 ETAPA III: DISEÑO DE LA MEZCLA SEGÚN EL ACI 211.3

Una vez realizadas las pruebas a los materiales que se utilizaran, y definidas las propiedades de éstos, se procederá al diseño de la mezcla según el Comité ACI 211.3 “Guía para la Selección de Proporcionamiento de Concreto sin Revenimiento”, que presenta dos metodologías. Para nuestro diseño se aplicará el Método 1: “Procedimiento para proporcionar CCR para cumplir con los límites especificados de consistencia” la cual es explicada en la sección 2.6.4.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

- Resistencia a la compresión a los 28 días ($f'c$)
- Consistencia (Tiempo Vebe)
- Tipo de cemento

Se reproducirá una mezcla definida como una mezcla “Seca” (Stiff) la cual debe de cumplir un tiempo Vebe comprendido entre 5 a 10 segundos. La tabla N° 3.7 muestra los parámetros que se tienen para esta investigación.

TABLA N° 3.7: PARÁMETROS DE DISEÑO

Característica	Valores
Tiempo Vebe	5 a 10 s
Resistencia a la compresión	280 kg/cm ²
Tipo de cemento	ASTM C1157 "HE"

Fuente: Los autores

Los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio que son necesarios para iniciar el diseño son los siguientes:

1. Tamaño máximo nominal del agregado grueso
2. Gravedad específica del cemento
3. Humedad de los agregados
4. Absorción de los agregados
5. Módulo de finura de la arena

El diseño se inicia siguiendo los pasos definidos en la metodología del capítulo II, para cada diseño se hará uso de una hoja de cálculo creada en Excel para simplificar y ordenar los datos, como la mostrada en el Anexo B.

Inicialmente se realizará el primer diseño teórico con los datos obtenidos de los agregados (humedad y absorción) en el laboratorio.

Utilizando la hoja de cálculo creada en Excel se obtendrán las cantidades para cada material a utilizar. La mezcla será reproducida para realizar el ensayo de consistencia la cual deberá ser la primera característica a cumplir.

Obtenida la consistencia deseada, se vaciarán y llenarán 4 probetas cilíndricas. Estas probetas serán llenadas y moldeadas utilizando el Martillo Vibrocompactador, pues solamente se desea conocer la resistencia a la compresión del diseño.

Dos probetas serán ensayadas a los siete días para conocer la evolución de la ganancia de resistencia a la compresión y otras dos probetas se ensayarán a los 28 días para conocer el $f'c$ especificado que se espera (para este trabajo de investigación será $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$).

Si los resultados no fuesen los esperados se realizara nuevamente el diseño, aumentando o disminuyendo la relación agua- cemento según los resultados obtenidos del primer cálculo, si éstos aun no satisfacen las condiciones iniciales; se irán aumentando o disminuyendo las cantidades de grava y arena, y se irán probando con diferentes relaciones agua/cemento hasta obtener una mezcla adecuada(resistencia satisfactoria según normativa, no segregable, cohesiva, homogénea y con suficiente cantidad de pasta para rellenar los vacios) que cumpla con el tiempo de consistencia cuando sea realizado el ensayo Vebe y además los porcentajes de material grueso y fino estén dentro de los límites recomendados en el ACI 211.3R.

En cada diseño que se realice se harán los ajustes necesarios por la cantidad de agua utilizada y se realizarán las correcciones por humedad y absorción de los agregados. Para asegurar que las cantidades obtenidas en cada bachada sean representativas del volumen total del material, se harán los respectivos cuarteos.

Completado el proceso, ensayados los cilindros a los 28 días, y con los resultados obtenidos se analizará cual será la proporción definitiva, que se reproducirá en bachadas hasta completar los 300 cilindros requeridos para el análisis estadístico y formular las conclusiones. La tabla N° 3.8 muestra la distribución de las cantidades de cilindros para cada ensayo.

TABLA N° 3.8: CANTIDAD DE CILINDROS POR ENSAYO Y EDAD

Ensayos	Edad de prueba/ cantidad de cilindros		
	7 días	28 días	56 días
Resistencia a la Compresión	42	120	120
Módulo de Elasticidad Estático	6	6	6
Módulo de Elasticidad Dinámico	Se utilizaran los mismos cilindros que se ensayaran a Resistencia a la Compresión (6 por edad)		
Total	48	126	126
			300

Fuente: Los autores

3.3.4 ETAPA IV: ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CCR.

Para realizar mezclas de concreto de CCR, el procedimiento a realizar en esta investigación es el indicado por la norma ASTM C 192 “**Práctica estándar para la elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto para ensayo**”; además, en esta práctica se muestra el procedimiento para la preparación de materiales y mezclado del concreto, pero para la elaboración de los especímenes se utilizarán las prácticas siguientes:

- Práctica estándar para moldeado del concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando un martillo vibratorio (ASTM C 1435).
- Práctica estándar para moldeado del concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando una mesa vibratoria (ASTM C 1176).

La elaboración de las mezclas y las pruebas al concreto en estado fresco y endurecido definidas en el capítulo I, serán realizadas en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del concreto (ISCYC); estas serán efectuadas por los realizadores de esta investigación, salvo aquellas en que se requiera la colaboración de personal técnico especializado en la utilización de algún tipo de equipo.

Un buen mezclado es esencial para la producción de concreto de calidad uniforme, por tanto el equipo y los métodos usados deben ser capaces de mezclar efectivamente los

materiales de tal forma de producir un concreto que posea la consistencia deseada. Para esta investigación cada una de las mezclas se elaborará mecánicamente en una maquina concretera, como se muestra en la Figura N° 3.9; con una capacidad de ½ bolsa, para cada una de las mezclas serán moldeados 6 cilindros de concreto y se tomara una consistencia utilizando el equipo Vebe (Método de ensayo A). Tres cilindros serán hechos según el procedimiento de la ASTM C 1435 y los 3 restantes serán conforme a la ASTM C 1176.

FIGURA N° 3.9: MÁQUINA CONCRETERA



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.4 ETAPA V: ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO

El concreto recién elaborado, es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda uniforme hasta la de un cuerpo rígido que toma la forma del molde en que se coloca, y después continua evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas.

La realización de ensayos al concreto fresco es de suma importancia porque a través de ellos se determinan las características que presenta la mezcla; para esta investigación los ensayos que se le realizaran son los siguientes: consistencia, temperatura y tiempos de fraguados.

3.3.5.1 ENSAYO DE CONSISTENCIA

El procedimiento para realizar esta prueba esta descrito por la norma ASTM C 1170 **“Método de Ensayo Estándar para Determinación de la Consistencia y la Densidad del Concreto Compactado con Rodillo usando una Mesa Vibratoria”**, este método de ensayo es usado para determinar la consistencia del concreto mediante el aparato Consistómetro Vebe y la densidad de especímenes de concreto consolidado. La consistencia es medida como el tiempo requerido para que una masa dada de concreto se consolide por vibración en un molde de forma cilíndrica.

Este método de ensayo es aplicable a mezclas de concreto fresco preparadas tanto en el laboratorio como en el campo, empleando un agregado con tamaño máximo nominal de 2 pulg o menos; y también es usada para medir la consistencia de mezclas de concreto secas a extremadamente secas.

Esta prueba está destinado al uso de ensayos de concreto compactado con rodillo, pero puede ser aplicado para ensayar otros tipos de concreto tales como agregados tratados con cemento y mezclas similares al suelo-cemento.

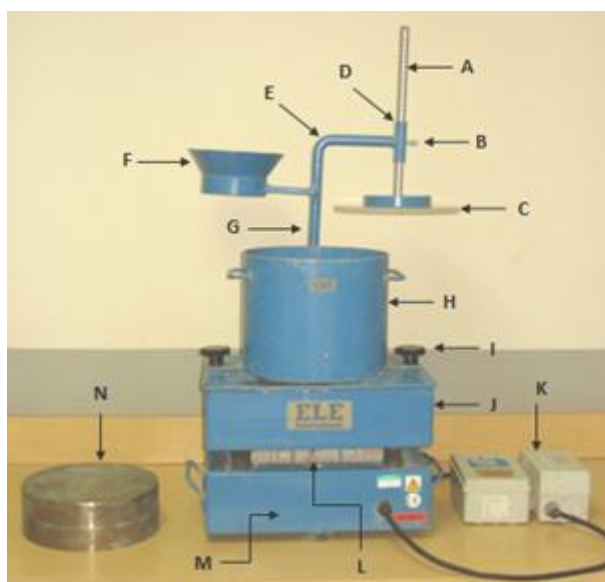
La Norma ASTM C1170, propone dos procedimientos para determinar la consistencia, los cuales son:

- **Método de Ensayo A** (usando una masa de sobrecarga de 50 lb (22.7 kg) colocado arriba del espécimen de ensayo). En esta investigación se utilizará este método de ensayo.
- **Método de Ensayo B** (usando una masa de sobrecarga de 27.5 lb (12.5 kg) colocado arriba del espécimen de ensayo).

Partes que componen el “Consistómetro Vebe”

Las partes que conforman el equipo son las mostradas en la Figura N° 3.10, y descritas en la Tabla N° 3.9.

FIGURA N°3.10: PARTES DEL CONSISTÓMETRO VEBE



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

**TABLA N° 3.9: SIGNIFICADO DE CADA PARTE DEL CONSISTÓMETRO
VEBE**

Consistómetro Vebe	
A	Varilla para disco transparente
B	Tornillo de fijación
C	Disco transparente
D	Manga guía
E	Brazo giratorio de disco y cono
F	Cono para colocación de mezcla
G	Tubo para brazo giratorio
H	Molde cilíndrico
I	Tornillo de fijación de recipiente
J	Mesa vibratoria
K	Caja de control del equipo (encender/apagar)
L	Generador de vibración
M	Base de metal
N	Sobrecarga

Fuente: Los autores

EQUIPO:

Mesa Vibratoria Vebe (J):

- Una Mesa Vibratoria con cubierta de acero con dimensiones de aproximadamente:
 - Espesor $\frac{3}{4}$ pulg (19 mm)
 - Longitud: 15 pulg (381 mm)
 - Ancho: $10 \frac{1}{4}$ pulg (260 mm)
 - Altura: 12 pulg (305 mm)

- La mesa vibratoria será construida de tal manera que prevenga la flexión de la mesa durante la operación.
- La cubierta de la mesa será activada por un vibrador electromecánico.
- La masa total del vibrador y la mesa será de aproximadamente 210 lb (95 kg).
- La mesa será nivelada y puesta en un piso de concreto o una losa de base, con la suficiente masa para prevenir desplazamientos del aparato durante la realización de ensayo.

Molde Cilíndrico (H):

- El molde cilíndrico deberá estar hecho de acero u otro material duro resistente a la corrosión producida por la pasta de cemento, y deberá tener las siguientes dimensiones:
 - Diámetro interno: $9 \frac{1}{2} \pm 1/16$ pulg (241 ± 2 mm)
 - Altura: $7 \frac{3}{4} \pm 1/16$ pulg (197 ± 2 mm)
 - Espesor de pared: $\frac{1}{4} \pm 1/16$ pulg (6 ± 2 mm).
- El volumen del molde deberá ser determinado al más cercano 0.001 pie^3 (0.028 L) de acuerdo con el método de Ensayo ASTM C 29/ C 29 M.
- El molde deberá estar equipado con broches metálicos permanentemente de tal manera que pueda ser rígidamente sujetado a la mesa vibratoria.
- El borde superior del molde deberá ser liso, plano y paralelo al fondo del molde y deberá ser capaz de proveer un sello de aire y agua cuando el vidrio o la placa plástica es colocada en el borde superior.

Brazo Giratorio (E) y Manga Guía (D):

- Una manga guía de metal con una abrazadera ensamblada u otra forma compatible de sostener el artefacto montado en el brazo giratorio.
- El brazo giratorio y la manga guía deben tener la capacidad de sostener la varilla de metal adherida a la masa cilíndrica de 50 lb (22.7 kg) en una posición perpendicular a la superficie vibratoria y permitiendo a la varilla deslizarse libremente cuando la abrazadera es liberada.
- El diámetro interior de la manga guía deberá ser $1/8 \pm 1/16$ pulg (3.2 ± 1.6 mm) mayor que el diámetro de la varilla de metal de la sobrecarga.
- El brazo giratorio debe ser capaz de mantener la manga guía en una posición fija directamente sobre el centro de la superficie de vibración.
- El brazo giratorio deberá ser capaz de ser rotado hacia fuera del centro de la mesa.

Sobrecarga (N):

- Una masa cilíndrica de acero con una placa circular de plástico adherida a su base y un eje metálico de al menos 18 pulg (457 mm) de longitud y $5/8 \pm 1/16$ pulg (16 ± 1.6 mm) de diámetro sujeta perpendicularmente a la placa y embebida en el centro de la masa.
- La varilla deberá deslizarse a través de la manga guía sin quedar apretado.
- La placa plástica deberá ser de aproximadamente $1/2$ pulg (13 mm) de espesor y deberá tener un diámetro de $9 \pm 1/8$ pulg (229 ± 3 mm).

- La sobrecarga montada deberá tener una masa de 50 ± 1 lb (22.7 ± 0.5 kg) incluyendo la masa de la placa de plástico y la varilla metálica.

Balanza

- Una balanza de suficiente capacidad para determinar la masa total de la muestra y el molde.
- La balanza deberá ser legible a la lectura más cercana a 0.05 % de la masa del espécimen de concreto

Placa lisa

Una pieza plana y lisa de vidrio o plástica limpia, de por lo menos $\frac{1}{2}$ pulg (13 mm) de espesor y de al menos 1 pulg (25 mm) más largo que el diámetro del molde cilíndrico.

Dispositivo de tiempo

Un cronómetro, capaz de registrar intervalos de tiempo de al menos 2 minutos al más próximo 1 segundo.

Termómetro: Conforme a los requerimientos de la especificación E 1.

Herramientas pequeñas

Se requiere una pala de punta cuadrada y cucharas de mano, llave, varilla apisonadora y linterna.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA (Método de Ensayo A)

1. Obtener una muestra representativa de concreto con una masa mínima de 50 lb (22.7 kg).
2. Humedezca el interior del molde y llénelo (como se muestra en la Figura N° 3.11) con 29.5 ± 1.5 lb (13.4 ± 0.7 kg) de concreto. Usando una pala de punta cuadrada y varilla apisonadora, coloque y distribuya el concreto emparejando para evitar la segregación, nivele la superficie del concreto suelto.

FIGURA N° 3.11: COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA MEDIR SU CONSISTENCIA



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3. Asegure el molde en la mesa Vebe apretando las tuercas de mariposa. Deslice el eje de la masa de la sobrecarga a través de la manga guía y rote la sobrecarga a su posición centrada sobre el molde, asegurándose que entrará en el recipiente cuando sea liberado. La sobrecarga puede ser bajada dentro del molde durante este proceso para ajustar la posición del molde pero esta no será colocada sobre

el espécimen. Asegure las tuercas de mariposa de la mesa Vebe con una llave para prevenir que se suelte durante el ensayo.

4. Baje suavemente la sobrecarga (como se muestra en la Figura N° 3.12) sobre la superficie del espécimen.

FIGURA N° 3.12: COLOCACIÓN DE SOBRECARGA



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

Si la sobrecarga no puede ser centrada en el molde sin que sea sujeta en la pared interior del molde, coloque la sobrecarga directamente sobre el espécimen en el molde sin el uso de la manga guía y sostenga manualmente el eje de la sobrecarga perpendicular al borde superior de la mesa. El eje de la sobrecarga se debe sostener manualmente a través del resto del ensayo Vebe. No aplique presión de mano adicional a la sobrecarga cuando aplique la sobrecarga manualmente.

5. Encienda el vibrador y el cronometro. Usando la linterna, observe el concreto en el espacio anular entre el borde exterior de la sobrecarga y la pared interior del molde. Observe el mortero hasta que se forme un anillo alrededor del perímetro total de la sobrecarga. Cuando se forme el anillo de mortero (como se muestra en la Figura N° 3.13) completamente alrededor de la sobrecarga pare el vibrador y el cronómetro; determine el tiempo transcurrido al más cercano, minuto y segundo. Registre este tiempo como el tiempo de consistencia Vebe, Método de ensayo A. Si las tuercas de mariposa se sueltan durante el ensayo, repita el ensayo con una muestra de concreto fresco. Si el anillo de mortero no se forma después de 2 minutos de vibración, pare el vibrador y el cronometro; registre esta condición en el reporte.

FIGURA N° 3.13: FORMACIÓN DEL ANILLO DE MORTERO



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

6. Si las siguientes condiciones existen después de haber transcurridos 2 minutos, documente esto en el reporte, registre el tiempo transcurrido y si es necesario repita el ensayo:

- Una bolsa de roca en el espécimen suelto evita que el anillo de mortero se forme en una localización pequeña, aunque el anillo de mortero se forma en todas las otras localizaciones, o
- El tiempo transcurrido en el cual la mayoría del anillo de mortero formado es similar a las lecturas previas con la misma proporción de mezcla.

Resultados del ensayo:

Reporte:

- Procedimiento usado
- Tiempo de consistencia Vebe en segundos

El ensayo Vebe es el más adecuado para mezclas de concreto con un tiempo Vebe entre 5 y 30 segundos.

3.3.5.2 ENSAYO DE TEMPERATURA.

Las variaciones de la temperatura del concreto al ser mezclado, puede ser una causa importante de cambios en la consistencia de la mezcla y un obstáculo para lograr una adecuada uniformidad en la calidad del concreto. La temperatura de una mezcla recién elaborada depende de cada uno de sus componentes y de las respectivas cantidades en que se emplean, de manera que puede ser calculada fácilmente, Sin embargo un concreto

con temperaturas altas, tiende a evaporar agua con mayor facilidad, generando en la superficie agrietamiento por secado, el cual genera esfuerzos indeseables en la masa de concreto. Para evitar que se presente dicho problema la medición de la temperatura del concreto recién mezclado es de suma importancia.

La norma ASTM C 1064 “**Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado**”, determina el procedimiento para la toma de temperatura del concreto recién mezclado.

3.3.5.3 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Los tiempos de fraguado en el CCR son una de las propiedades en estado fresco que más dificultades ha presentado para su correcta determinación. Sin embargo conocer con exactitud cuando tiene lugar el fraguado del material, resulta crucial para obtener una buena adherencia entre capas y para determinar hasta que instante se puede compactar el material sin comenzar a deteriorarlo.

En la construcción de cualquier elemento de concreto las etapas de transporte, colocación y compactación requieren un periodo de tiempo considerable para ejecutarlas de una manera adecuada, esto se debe realizar antes que el concreto comience a fraguar, la norma ASTM C 403 “**Método estándar de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencias a la penetración**”, define al tiempo

de fraguado inicial como el tiempo transcurrido desde la interacción cemento-agua, hasta el desarrollo de una resistencia a la penetración por parte de la mezcla de 35.7 kg/cm² (500 psi), y al tiempo de fraguado final como el tiempo transcurrido desde la interacción cemento-agua hasta que la mezcla desarrolle una resistencia a la penetración de 280 kg/cm² (4000 psi). El equipo utilizado para la realización de esta prueba es el mostrado en la Figura N° 3.14.

FIGURA N° 3.14: EQUIPO PARA ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

3.3.6 ETAPA VI: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

Antes de conocer los métodos por los cuales se elaboraran los especímenes cilíndricos, es necesario que se conozca la metodología para la elaboración de las probetas.

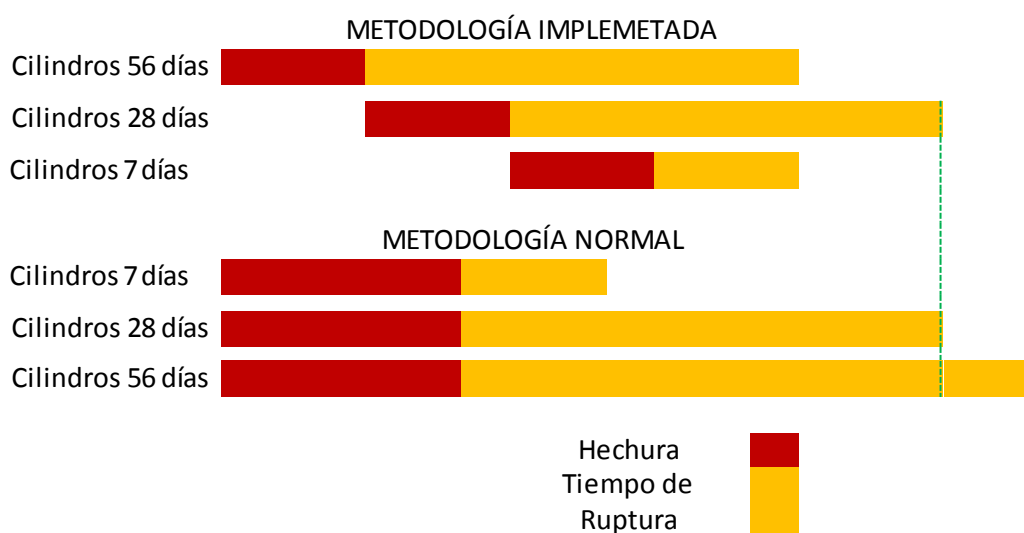
En el laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto ISCYC, se dispone de un periodo específico para desarrollar los ensayos requeridos como parte de la investigación, además existen grupos de otras universidades que de igual manera están haciendo uso de las instalaciones y equipos del laboratorio, tomando en cuenta estas consideraciones, se hará un cronograma de los ensayos a realizar adaptados a la disponibilidad del laboratorio, equipo y personal técnico de la institución asignado al grupo investigador, el cronograma se muestra en el Anexo C.

Las mezclas realizadas serán homogéneas, con una misma relación a/c garantizando que la ganancia de resistencia entre edades sea representativa y no presente grandes variaciones entre cada bachada.

Se ensayaran cilindros a las edades de 7, 28 y 56 días, por lo que es necesario una organización predeterminada que nos ayude a optimizar el tiempo de elaboración de las mezclas y de los cilindros, para ello se iniciará la elaboración de 120 especímenes correspondientes a la edad de 56 días, de esta manera garantizamos que llevamos adelantado el tiempo que hay que esperar para ser ensayados y que se puede aprovechar para la elaboración de los demás. Luego de ellos se elaboraran los 120 cilindros para la edad de 28 días y al final los 60 cilindros para la edad de 7 días. De esta manera se ahorrará el tiempo y se garantiza terminar lo antes posible los ensayos en el laboratorio. En la Figura N° 3.15, se muestra de manera esquemática el ahorro de tiempo que se

espera al seguir esta metodología comparándolo con un proceso normal de elaboración de cilindros.

FIGURA N° 3.15: METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS



Fuente: Los autores

Los cilindros para ensayo de CCR son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto: de 6 pulg de diámetro y 12 pulg de altura. Se utilizarán moldes metálicos partidos para facilitar el desmolde y un collar de extensión de 4.5 pulg de altura para permitir la compactación de la última capa y nivelar la superficie superior del espécimen después de la compactación. Para el moldeo de los especímenes se utilizara el Martillo Vibrocompactador y la Mesa Vibratoria conforme a la norma ASTM C 1435 y ASTM C 1176.

3.3.6.1 MOLDEO DE CILINDROS UTILIZANDO MARTILLO VIBRATORIO

La Norma ASTM C 1435 “**Práctica Estándar para Moldeo del Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos usando un Martillo Vibrocompactador**”, describe el moldeo de especímenes cilíndricos de concreto para ensayo. Los especímenes para el ensayo son moldeados verticalmente en moldes cilíndricos mediante compactación de mezclas de concreto rígidas a muy secas en tres capas usando un martillo vibratorio eléctrico, equipado con un eje y una placa circular (como se muestra en la Figura N° 3.16) y puede ser aplicable en otros tipos de material cementados, tales como base granular, suelo-cemento.

FIGURA N° 3.16: MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (HILTI)



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

Esta práctica es usada en lugar del varillado o vibración interna, el cual no puede consolidarse apropiadamente en un concreto de esta consistencia.

Además es utilizada para moldear especímenes cilíndricos para ensayo, comúnmente usados para ensayos de resistencia a la compresión o Tensión del concreto.

EQUIPO:

- Molde cilíndrico de 150 mm (6 pulg) de diámetro por 300 mm (12 pulg) de altura, conforme a los requerimientos de la Especificación ASTM C 470.
- Martillo vibratorio, 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 ($5 \frac{3}{4} \pm 1/8$ in) y una masa de 3 ± 0.1 Kg (6.5 ± 0.2 lb).
- Herramientas pequeñas: desplantador, pala punta cuadrada, cucharón manual, varilla de acero, plancha de madera, enrazador, apisonador, como se requiere en la Practica C 31 / C 31 M.

PROCEDIMIENTO:

1. Cubra los moldes con un lubricante conveniente y sujete estacionariamente el molde mediante abrazaderas o grapas a una base rígida y plana o permanentemente en el pie de soporte y centre el martillo vibratorio para que el

borde de la placa golpeadora no toque las paredes del molde. Baje el martillo vibratorio dentro del molde para verificar el espacio apropiado.

2. Coloque suficiente concreto en el molde para que sea llenado a un tercio de su volumen después de su consolidación, use una varilla para distribuir el concreto. Durante el relleno use palas de punta cuadrada y cucharones para obtener una muestra representativa y maneje el concreto de tal manera que el agregado grueso de tamaño mayor no sea separado del mortero.
3. Coloque el martillo vibratorio con la placa apisonadora sobre el concreto e inicie la vibración permitiendo que el concreto se consolide bajo la placa golpeadora. Observe el concreto en el espacio anular entre el borde de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Como el concreto se consolida, el mortero debe de rellenar el espacio entre el borde externo de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Observe el mortero hasta que forme un anillo alrededor del perímetro total de la placa golpeadora. Cuando el anillo de mortero se forme completamente alrededor de la placa, pare el martillo vibratorio.
4. Si una significativa porción del anillo de mortero no se forma después de 20 segundos, el martillo vibratorio debe ser parado y la siguiente capa de concreto adicionada.

- Repita el procedimiento anterior para la segunda carga de concreto, rellene el molde aproximadamente a dos tercios de su volumen. Para la tercera capa, sobrellene el molde mediante el uso de un collarín encima del borde superior del molde (como se muestra en la figura N° 3.17). De nuevo, coloque la placa golpeadora en el concreto suelto y proceda a consolidarlo. Si la placa golpeadora consolida el concreto debajo del nivel superior del molde, apague el martillo vibratorio. Coloque concreto adicional en el molde de manera que, cuando se consolide, el concreto estará 3 mm (1/8 pulg) sobre el borde superior del molde. También, se pueden utilizar un aditamento que sirva como extensión del molde con el objetivo de compactar eficientemente y de una sola vez la ultima capa.

FIGURA N° 3.17: MOLDEO DE LA ÚLTIMA CAPA UTILIZANDO EL MARTILLO.



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

- Enrasar el concreto con la orilla de una regla de acero o llana de mano así será nivelado con el borde superior del molde. Termine la superficie del espécimen

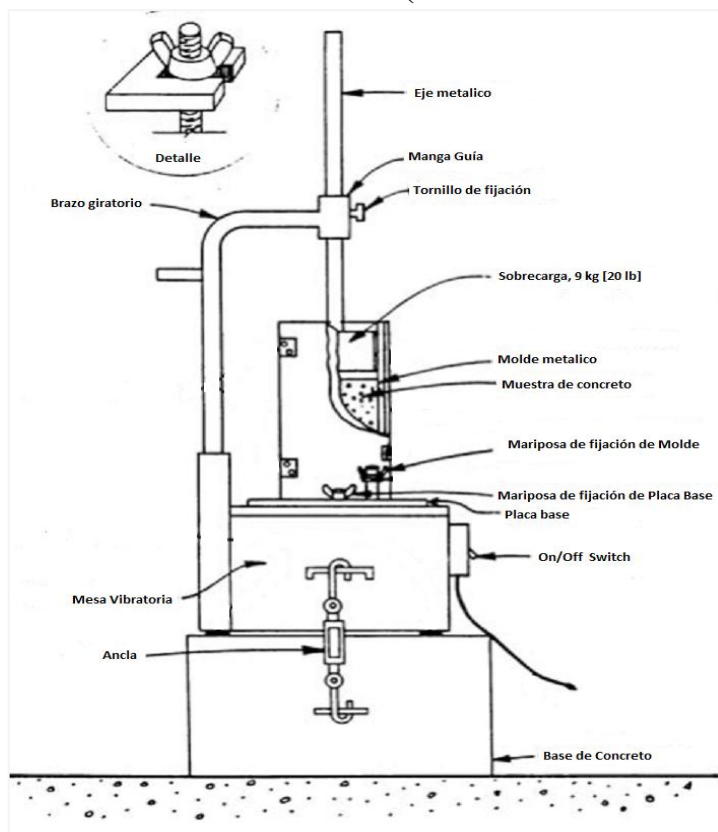
con una varilla de acero o plancha de madera evitando dañar la superficie del concreto.

3.3.6.2 MOLDEO DE CILINDROS UTILIZANDO MESA VIBRATORIA.

La norma ASTM C1176 “**Practica Estándar para Moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en moldes cilíndricos usando una Mesa Vibratoria**”, cubre los procedimientos para el moldeado de especímenes cilíndricos de concreto para ensayo, cuando los procedimientos estándar de varillado y de vibración interna, tal como se describe en la Práctica C 31, no sea posible. Se aplica a concreto recién mezclado, elaborado en el laboratorio y en el campo, con un tamaño máximo nominal de 50 mm [2 pulg] o menos.

Las muestras de ensayo se hacen en moldes cilíndricos, y estos se unen a la mesa vibratoria (como se muestra en la Figura N° 3.18), en el cual se coloca una sobrecarga de 9 kg [20 lb] para facilitar la consolidación.

FIGURA N° 3.18: MESA VIBRATORIA (PREPARACIÓN DE CILINDRO)



Fuente: Norma ASTM C1176 (Practica Estándar para Moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en moldes cilíndricos usando una Mesa Vibratoria), pág. 2

Equipo:

- **Molde cilíndrico:** conforme a los requisitos de la especificación C 470 de 152 mm [6 pulg] de diámetro y 305 mm (12 pulg) de altura.
- **Mesa Vibratoria Vebe:** una mesa vibratoria con una cubierta de acero con un espesor de 20 mm [3/4 pulg] y con dimensiones de aproximadamente de 380 mm [15 pulg] de largo, 260 mm [10 ¼ pulg] de ancho, y 300 mm [12 pulg] de altura.

La mesa vibratoria se construirá de tal manera que se evite la flexión de la mesa durante la operación. La masa total del vibrador y de mesa debe de ser aproximadamente de 95 kg [210 lb]. La mesa deberá estar a nivel y sujeta a un piso de concreto o una losa de base que tiene suficiente masa para evitar el desplazamiento del aparato durante la preparación del espécimen.

- **Brazo giratorio y Manga guía:** el brazo giratorio y la manga guía debe ser capaz de mantener el eje de metal unido a una sobrecarga de 9 kg [20 lb] en una posición perpendicular a la superficie vibrante y permitiendo que el eje se deslice libremente cuando el abrazadera se libera. El brazo giratorio debe ser capaz de mantener la manga guía en una posición de bloqueo directamente sobre el centro de las muestras que serán sometidas a vibraciones. El brazo giratorio debe ser capaz de rotar a una distancia al centro de la mesa.

- **Sobrecarga:** Una masa cilíndrica de acero con un eje de metal de por lo menos 460 mm [18 pulg] de largo y 16 ± 2 mm [$8/5 \pm 1/16$ pulg] de diámetro unidos perpendicularmente y embebidos en el centro de la masa. El eje se deslice a través de la manga guía, sin carácter vinculante. La sobrecarga tendrá un diámetro de 146 ± 3 mm [$5 \frac{3}{4} \pm 1/8$ pulg]. La sobrecarga tendrá una masa de $9.1 \pm 0,25$ kg [$20 \pm 0,5$ lb], incluida la masa del eje de metal.

- **Tamiz:** de 50 mm [2 in] conforme a la especificación E 11.

- **Herramientas pequeñas:** palas, cucharones, llana de acero, llana de madera, una llave inglesa, y linterna cuando sea necesario.

Procedimiento:

1. Cubra los moldes con un lubricante conveniente para facilitar el desmolde.
2. Coloque el molde sobre la mesa vibratoria, y centre la sobrecarga (como se muestra en la Figura N° 3.19) de modo que los bordes de la placa de plástico no toque las paredes del molde. Baje la sobrecarga en el molde para revisar el espacio adecuado. Coloque el molde sobre la mesa vibratoria, y apriete firmemente las tuercas de mariposa. Mueva la sobrecarga fuera del molde.

FIGURA N° 3.19: CENTRADO DE LA SOBRECARGA EN EL MOLDE



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3. Coloque suficiente concreto en el molde para llenar hasta un tercio de su volumen después de la consolidación (Aproximadamente 4,5 kg [9,5 lb]).

4. Mover la sobrecarga sobre el centro del molde, liberando la abrazadera de manga guía, y bájela con suavidad sobre concreto suelto. la sobrecarga quedara vertical y libre de unión en la manga guía.
5. Si la sobrecarga no puede ser centrada en el molde, colocar la sobrecarga directamente sobre la muestra en el molde sin hacer uso de la manga guía y mantener el eje perpendicular y sostenerlo de forma manual, mientras se vibra la muestra. No aplicar ninguna presión manual adicional.
6. Iniciar la vibración en la mesa y permitir que el concreto se consolide con la sobrecarga (como se muestra en la Figura N° 3.20). Usando una linterna eléctrica, observar el concreto en el espacio anular entre el borde de la sobrecarga y la pared interior del molde. A medida que el concreto se consolida, una capa de mortero rellenara el espacio anular entre el borde exterior de la sobrecarga y la pared interior del molde. Observe hasta que se forme un anillo de mortero alrededor del perímetro total de la sobrecarga. Cuando el anillo de mortero se forma completamente alrededor de la sobrecarga, parar el vibrador. Si las tuercas se aflojan cuando se está vibrando la muestra, vuelva a apretar las tuercas de mariposa, y luego continuar con la vibración garantizando que la muestra se consolide completamente.

FIGURA N° 3.20: CONSOLIDACIÓN DE PRIMERA CAPA

Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

7. Si una bolsa de roca evita la formación del anillo de mortero en un lugar pequeño, a pesar de que se ha formado en todos los demás lugares, el vibrador puede ser detenido y otra capa de concreto puede ser añadido. Si una parte importante del anillo de mortero no se forma, esto indica que el concreto no tiene suficiente mortero, debido a un muestreo inadecuado, la segregación, o inadecuado mezcla de dosificación. En estos casos, la muestra de concreto debe ser inspeccionada visualmente después de quitar el molde, y luego decidir si se acepta o rechaza la muestra.

8. Repetir el procedimiento desde el paso 1 al 7, el llenado del molde para la segunda capa debe de ser aproximadamente de dos tercios de su volumen. Para la tercera capa sobrellenar el molde, haciendo uso de un collarín para que el concreto quede por encima de la parte superior del molde. Una vez más, colocar la sobrecarga sobre el concreto suelto y consolidarlo (como se muestra en la

Figura N° 3.21). Si el concreto consolidado queda por debajo del nivel superior del molde, colocar una muestra de concreto adicional en el molde y consolidarlo, el concreto deberá quedar 3 mm [1/8 pulg] por encima de la parte superior del molde.

FIGURA N° 3.21: LLENADO DEL MOLDE PARA LA SEGUNDA Y TERCERA CAPA



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

9. Retire el molde con la muestra consolidada de la mesa vibradora (como se muestra en la Figura N° 3.22), y dele un acabado en la superficie superior de la muestra con una llana de acero o de madera.

FIGURA N° 3.22: RETIRADO DEL ESPÉCIMEN DE MESA VIBRATORIA Y REALIZACIÓN DE ACABADO EN LA SUPERFICIE SUPERIOR.



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.6.3 CURADO DE ESPECÍMENES DE CCR.

Las mezclas de concreto con baja relación agua-cemento (menor que 0.40) pueden necesitar de un curado especial. A medida que el cemento se hidrata (combinación química con el agua), la humedad relativa interna disminuye, causando la auto desecación (secado) de la pasta, si no se suministra agua externa. La pasta se puede desecar hasta un nivel que la hidratación se paraliza. Esto puede influenciar en las propiedades del concreto, especialmente durante los primeros siete días. En vista de eso, es necesario realizar un curado adecuado para maximizar la hidratación.

Después de realizar la remoción de los moldes a los especímenes se procede a darles un curado adecuado, para que las propiedades del concreto se mantengan y no se vean

afectadas; para nuestro caso el curado que se les dará a los especímenes de CCR, es el propuesto por la Norma ASTM C 192 “**Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo**”, el cual serán curados en un tanque de almacenamiento (como se muestra en la Figura N° 3.23), manteniendo una temperatura de $(23.0 \pm 2.0 \text{ }^\circ\text{C})$, desde el momento del desmoldado hasta el momento del ensayo.

FIGURA N° 3.23: TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA CURADO DE ESPECÍMENES DE CCR.



Fuente: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3.3.6.4 SIMBOLOGÍA PARA ESPECÍMENES DE CCR.

Para establecer la simbolización de los especímenes de concreto ensayados a compresión, se tomo a bien identificar primero las edades y métodos por los cuales se realizarían los especímenes. Para identificarlos de manera detallada se decidió simbolizar con las tres primeras letras del abecedario la edad de prueba de cada cilindro:

A: Cilindros que serán ensayados a los 56 días

B: Cilindros que serán ensayados a los 28 días

C: Cilindros que serán ensayados a los 7 días

Seguido del Método de llenado de los cilindros que se identifica con la letra inicial del método, así:

M: Elaborados con el **Martillo** Vibrocompactador ASTM C 1435

V: Elaborados con la Mesa Vibratoria o conocido como Equipo **Vebe** ASTM C 1176

Luego se colocará en cada cilindro, un número, que es el correlativo y que también dependerá de la edad de ruptura, por lo que para cilindros que se ensayaran a los 56 días se enumeraran del 1 al 120, al igual que para la edad de 28 días, mientras que para cilindros a ser ensayados a la edad de 7 días, se enumeraran del 1 al 40.

Al final se le colocaran las siglas CCR que identifican el tipo de concreto: **Concreto Compactado con Rodillo.**

Para la simbolización de especímenes ensayados para conocer el Módulo de Elasticidad Estático, se identificarán de la misma manera que para compresión, con la única diferencia al final, donde se colocara en lugar de: CCR, la palabra **MÓDULO**. Y su

numeración correlativa será por edad del 1 al 6. La Figura N° 3.24, A y B, muestra los esquemas de la simbología.

FIGURA N° 3.24: ESQUEMAS PARA LA SIMBOLIZACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

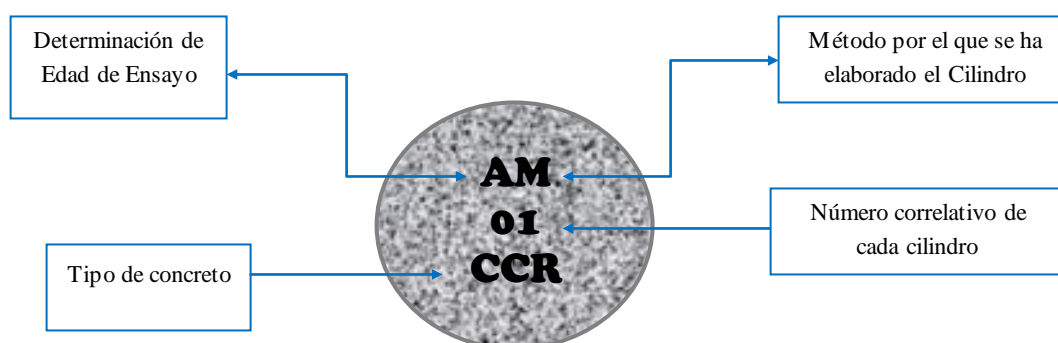


FIGURA N° 3.24 (A): Esquema para simbología de los especímenes ensayados a Compresión

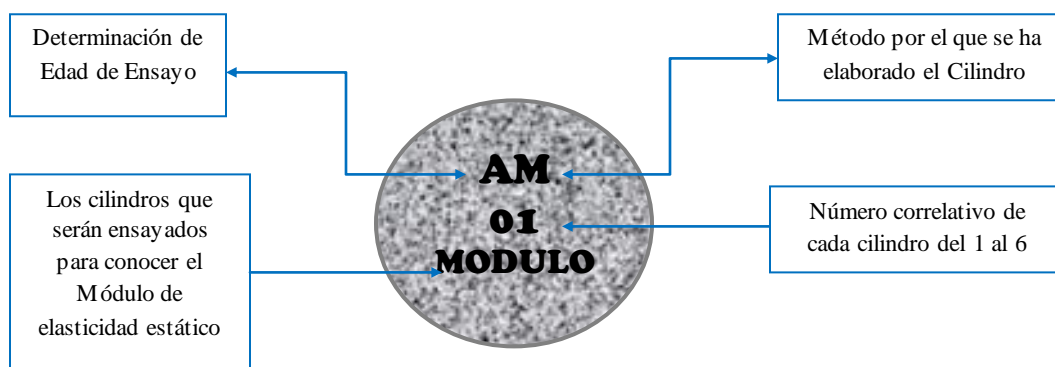


FIGURA N° 3.24 (B): Esquema para simbología de los especímenes ensayados para conocer el Módulo de Elasticidad Estático.

3.3.7 ETAPA VII: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.

Cumplidas las edades de los especímenes se realizarán las pruebas de ensayo a la compresión, módulo de elasticidad estático, la relación de poisson, y módulo de elasticidad dinámico.

3.3.7.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BAJO ASTM C 39.

Los valores que se obtengan al realizar este ensayo dependerán de la metodología de moldeo de los especímenes, dosificación, procedimiento de mezclado, la temperatura y proceso del curado.

Los resultados de este método de ensayo serán utilizados como base para evaluar la efectividad de cada método aplicado en el moldeo de cilindros, por lo que la buena realización de este ensayo dependerá de los resultados obtenidos.

Para el control de los ensayos a desarrollar se realizará una calendarización de las fechas de rupturas según edades correspondientes y en el cual se tomarán en cuenta las tolerancias permisibles para el ensayo a la compresión según la norma ASTM C 39.

Las edades a las cuales serán ensayados los especímenes serán a los 7, 28 y 56 días, las tolerancias para dichas edades se presenta en la tabla N° 3.10.

TABLA N° 3.10: TOLERANCIAS PERMISIBLES SEGÚN EDAD DE ENSAYO

Edad de Ensayo	Tolerancia Permisible
24 h	±0.5h o 2.1%
3 días	2h o 2.8%
7 días	6 h o 3.6%
28 días	20 h o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

Fuente: ASTM C 39/C 39M -05 “Método de ensayo estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”. Apartado 7.3, Pagina 4.

Según la programación realizada, una vez moldeado los cilindros y colocados en el cuarto de curado (en la Sección 3.3.6.3 se detalla el procedimiento de curado que se le hará a los especímenes), se desarrollan las pruebas para cada día. Para el ensayo de la resistencia a la compresión según el ASTM C 39/C 39M, el procedimiento a seguir será el siguiente:

- **Dimensiones del espécimen**

1. Retire el espécimen del cuarto húmedo.
2. Coloque el espécimen sobre la mesa de trabajo.
3. Utilizando una franela, eliminar la humedad superficial del espécimen.
4. Determinar el peso del espécimen.
5. Medir la longitud del espécimen en dos lados opuestos.

6. Medir el diámetro del cilindro en dos lados con sentidos opuestos y perpendiculares entre sí.
7. Cubrir los especímenes con franelas o papel húmedo, para que se mantenga superficialmente húmedo.
8. Para conseguir una distribución uniforme de la carga, los cilindros pueden ser refrentados con mortero de azufre (siguiendo la Norma ASTM C 617) o con tapas de almohadillas de neopreno (Norma ASTM C 1231), en este ensayo se le colocaran almohadillas de neopreno. Según la ASTM C 1231, los requerimientos de dureza para estas almohadillas varían desde 50 a 70 dependiendo del nivel de resistencia sometido a ensayo, y se deben de sustituir si se presentan desgastes excesivos.

- **Aplicación de la carga**

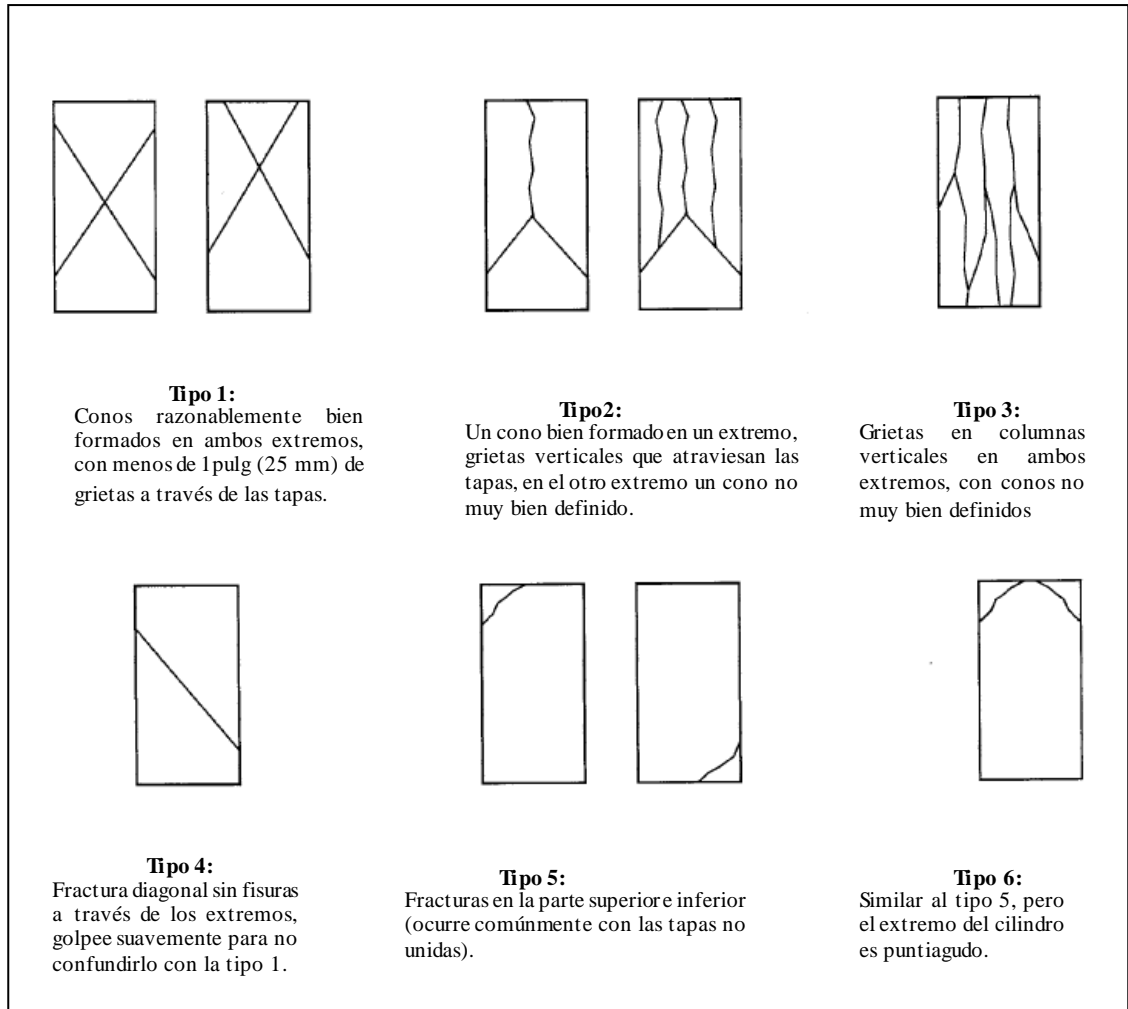
Una vez instaladas todas las piezas de la máquina de ensayo y la verificación del buen funcionamiento de ésta se desarrollara la prueba.

1. Colocar el espécimen sobre el bloque de apoyo inferior, alineando cuidadosamente el eje del espécimen con el centro del bloque con asiento esférico.
2. Verifique que el indicador de carga se encuentre en “cero”.

3. Mueva el bloque con asiento esférico hasta que haga contacto con la superficie del espécimen, rotando suavemente su porción móvil con la mano de manera que se obtenga un asiento uniforme.
4. Aplicar la carga al espécimen hasta la primera mitad de la fase de carga prevista. La velocidad de carga deberá ser aplicada de manera controlada para que el espécimen no sea sometido a cargas de choque.
5. Aplique la segunda mitad de la fase de carga prevista hasta que el indicador de carga muestre que la carga está disminuyendo de manera constante y el espécimen muestre un patrón de falla bien definido.
6. Registre la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.
7. Anote el tipo de falla obtenido de acuerdo a la Figura N° 3.25. Si el patrón de falla no es uno de los patrones típicos dibuje y describa brevemente el tipo de falla.
8. Determine la resistencia a la compresión según la ecuación N° 3.1:

$$f'c = \frac{\text{Carga registrada por la máquina}(kg)}{\text{Área}(cm^2)} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

FIGURA N° 3.25: PATRONES DE FRACTURA TÍPICOS



Fuente: ASTM C39/C39M -05 "Método de ensayo estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto". Página 5.

3.3.7.2 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON BAJO ASTM C 469.

El Módulo de Elasticidad Estático y los valores de la Relación de Poisson, aplicables dentro del rango del esfuerzo habitual de trabajo (0 a 40 % de la resistencia final del concreto), se utilizan en el dimensionamiento de los elementos estructurales reforzados y no reforzados, así como también en el establecimiento de la cantidad de refuerzo.

Para esta prueba se moldearan 18 cilindros, 3 de los cuales se harán utilizando el Martillo Vibrocompactador y 3 utilizando la Mesa Vibratoria, para conocer los respectivos Módulos de Elasticidad y Relación de Poisson a las edades de 7, 28 y 56 días, el equipo utilizado en el ISCYC se muestra en la figura N° 3.26.

FIGURA N° 3.26: EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON.



FUENTE: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

Para conocer el Módulo de Elasticidad de cada edad, se tomaran 3 cilindros, de los cuales, uno será ensayado a la compresión para conocer la resistencia total que servirá para calcular el 40 % de la resistencia y dos serán ensayados al 40 % de la carga para conocer las deformaciones en el concreto, según la Norma ASTM C 469 “Método de prueba para el Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del concreto a compresión”

EQUIPO:

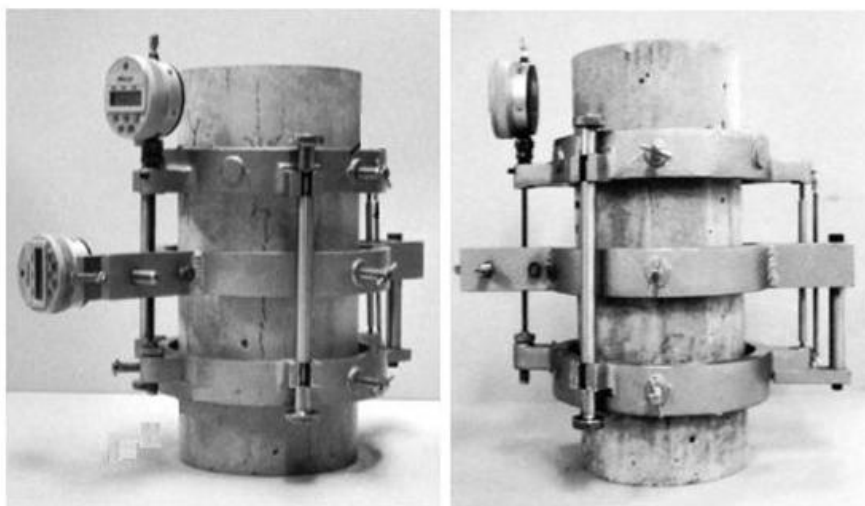
- a. Maquina de prueba de carga: Según los requerimientos descritos en la norma ASTM C 39.
- b. **Compresómetro** para la determinación del módulo de elasticidad: Utilizar un dispositivo de detección no adherentes que mide con una precisión de $5 / 1000000$ la deformación media de dos líneas diametralmente opuestas calibradas. Ver Figura N° 3.27 (A).
- c. **Extensómetro**: Si se desea conocer el coeficiente de Poisson, la tensión transversal se determinará por un extensómetro no adherente, capaz de medir con una precisión de 25 μm . (0.635 μm) el cambio de diámetro en media altura de la muestra. Ver Figura N° 3.27 (B).

FIGURA N° 3.27: EQUIPO INSTALADO EN LA PROBETA DE PRUEBA

(A) COMPRESÓMETRO

(B) EXTENSÓMETRO Y

COMPRESÓMETRO COMBINADO



FUENTE: Norma ASTM C 469/469M – 02 "Método de prueba para el módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto a compresión"

PROCEDIMIENTO:

1. Se deberá mantener la temperatura ambiente y la humedad más constante posible durante toda la prueba.
2. Utilizar dos ejemplares, un compañero será para determinar el esfuerzo a la compresión de acuerdo con el Método de Ensayo C 39 antes de la prueba de Módulo de Elasticidad (Aunque en la norma se especifica un espécimen para ensayarlo al 40 % de su carga máxima, en esta investigación se tomaran dos especímenes y se tomara el promedio).

3. Para el Módulo de Elasticidad deberá marcarse el espécimen a dos pulgadas en cada extremo desde el borde y alrededor de todo el perímetro para la colocación del equipo de lectura de deformación.
4. Colocar el equipo de medición de la tensión cuidadosamente, utilizando el método más conveniente y simplificado, hasta que el equipo este dentro de las marcas de calibración.
5. Colocar el espécimen en el bloque de apoyo de la máquina de ensayo, procurando que quede centrado en éstos y así la carga se distribuya uniformemente.
6. Cargar al espécimen al menos dos veces, para verificar el funcionamiento de los medidores y acoplamiento de los asientos. No registrar estos datos durante la primera carga.
7. Aplicar la carga de forma continua; y tomar las lecturas de deformación y carga para poder definir mediante interpolación calculada y gráficamente, el esfuerzo (S_1), correspondiente a la deformación unitaria de 50 millonésimas (e_1), así como la deformación unitaria (e_2) correspondiente al 40 % del esfuerzo máximo (S_2).
Ver Formula.

8. Si el coeficiente de Poisson se va a determinar, registrar la deformación transversal en los mismos puntos.
9. Calcular el esfuerzo de compresión al dividir el cociente de las pruebas de la máquina de carga por el área transversal de la muestra.
10. Calcular el Módulo de Elasticidad, con una precisión de 50,000 psi (344,74 MPa) de la ecuación N° 3.2:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{e_2 - 0,000050} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad acorde, psi,

S_2 = tensión correspondiente al 40 % de la carga de rotura,

S_1 = tensión que corresponde a una lectura de 50 / 1000000, psi

e_2 = Deformación longitudinal producida por la tensión S_2 .

11. Calcular la Relación de Poisson, con una precisión de 0,01, de la ecuación N° 3.3:

$$\mu = (\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}) / (\varepsilon_2 - 0,000050) \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Donde:

μ = Coeficiente de Poisson,

ϵ_{t2} = Tensión transversal de la muestra a media altura producida por la carga S_2 ,

ϵ_{t1} = Tensión transversal de la muestra a media altura producida por la carga S_1 .

3.3.7.3 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO BAJO NORMA ASTM C 597

Este ensayo será uno de los primeros en llevarse a cabo en esta etapa, ya que es un ensayo no destructivo y podrá realizarse con los mismos especímenes elaborados para determinar la resistencia a la compresión.

Este método es aplicable para evaluar la uniformidad y la calidad relativa de concreto, para indicar la presencia de huecos y grietas, y cuyo objetivo será la determinación de la propagación de la velocidad de pulsos de ondas de esfuerzo longitudinal a través del concreto.

Los pulsos de ondas de tensión longitudinal son generados por un transductor electroacústico del que se mantiene en contacto con una superficie del concreto. Después de recorrer a través del concreto, los impulsos son recibidos y se convierte en energía

eléctrica por un segundo transductor situado a una distancia (L) de la transmisión del transductor. El tiempo de tránsito (T) se mide electrónicamente.

La Velocidad de Pulso (V)¹¹, de las ondas de tensión longitudinal en un concreto en masa está relacionada con sus propiedades elásticas y la densidad de acuerdo con la ecuación N° 3.4:

$$V = \frac{E(1 - \mu)}{\rho (1 + \mu) (1 - 2\mu)} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad dinámico,

μ = relación de Poisson dinámico

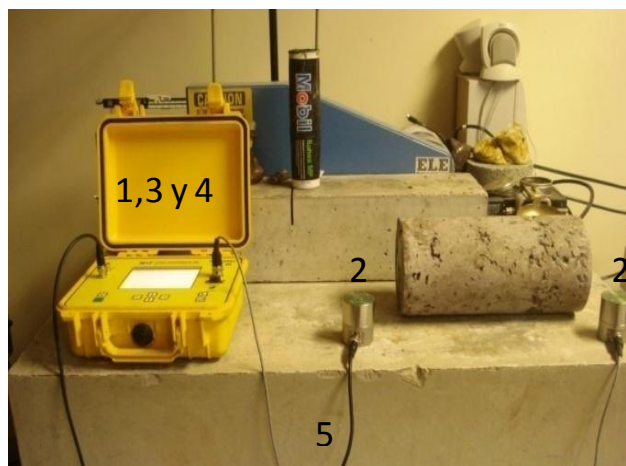
ρ = densidad.

EQUIPO:

El equipo utilizado es mostrado en la Figura N° 3.28.

¹¹La velocidad del pulso es independiente de las dimensiones del objeto de prueba.

FIGURA N° 3.28: ESQUEMA DEL EQUIPO DE VELOCIDAD DE PULSO



FUENTE: Fotografía tomada en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

1. Generador de pulso.
2. Un par de transductores (emisor el receptor), con frecuencia de resonancia en el rango de 20 a 100 kHz.
3. Un amplificador.
4. Un circuito de medición de tiempo: deberá ser capaz de proporcionar un tiempo total de medición de la resolución de al menos 1 ms.
5. Cables de conexión.

PROCEDIMIENTO:

1. Verifique que el equipo está funcionando correctamente y realice un ajuste de tiempo cero.

2. Para el ensayo de la construcción existente, seleccione los lugares de prueba de acuerdo con la Práctica C 823 (Practica Estándar para exanimación y muestreo de concreto endurecido en construcciones), o cumplir con los requisitos de la parte que solicita la prueba, según el caso.
3. Para obtener mejores resultados, ubique los transductores de enfrente entre sí.
4. Aplicar un agente de acoplamiento apropiado (como el agua, aceite, vaselina, grasa, goma moldeable, o viscosos otros materiales) a las superficies del transductor o la superficie de prueba, o ambas cosas.
5. Presione las caras de los transductores con firmeza contra la superficie del concreto hasta un tiempo de tránsito estable, y medir el tiempo de tránsito.
6. Determinar la distancia en línea recta entre los centros de las caras de los transductores.
7. Mediciones repetidas deben hacerse en el mismo lugar para reducir al mínimo lecturas erróneas debido al mal acoplamiento.
8. Calcular la velocidad del pulso de acuerdo a la ecuación N° 3.5:

$$V = \frac{L}{T} \qquad \text{Ecuación (3.5)}$$

Donde:


V = la velocidad del pulso, (m / s).


L = distancia entre los centros de las caras del transductor (m).


T = Tiempo de tránsito (s).


3.3.8 ETAPA VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al concluir con las pruebas de laboratorio y registrado los datos de los ensayos; se llevara a cabo el análisis de los resultados para la evaluación y comparación de los métodos utilizados para el llenado de los cilindros y otra serie de correlaciones descritas a continuación.

 Correlación para determinar la influencia que tiene cada método de llenado de cilindros en laboratorio con la resistencia a la compresión, Norma ASTM C 1175 (Mesa Vibratoria) y ASTM C 1435 (Martillo Vibrocompactador).

 Correlación entre la resistencia a la compresión y la relación A/C.

 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad estático.

 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad dinámico.

CAPÍTULO IV:

DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR SEGÚN ACI 211.3 EN LABORATORIO

4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se realizan los diseños de mezclas, siempre es necesario conocer anticipadamente los parámetros que determinan las propiedades físicas esenciales de los agregados y determinar si cumplen con los requerimientos en la elaboración del concreto. En el caso del CCR se aplica la misma metodología que en cualquier concreto convencional, determinando paso a paso los parámetros de los agregados para luego elaborar el proporcionamiento de la mezcla y reproducirla luego en laboratorio.

En los capítulos II y III se describió de manera teórica, los procedimientos a utilizar en el laboratorio para obtener los resultados que en este capítulo se muestran.

En este capítulo se presentan los resultados de los diferentes ensayos que fueron realizados a los materiales (cemento, grava y arena). Estos presentan información valiosa para elegir las cualidades finales del concreto y seleccionar el proporcionamiento adecuado.

En el cálculo del diseño de mezclas se darán a conocer los resultados obtenidos para la elaboración del diseño de mezcla, tanto de las mezclas de prueba como la mezcla definitiva y la manera en que se decidió optar por dicha mezcla como definitiva, siguiendo los procedimientos propuestos por el Comité ACI 211.3.

4.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA

En la Etapa II del Capítulo 3 de este documento se muestran los procedimientos para realizar cada ensayo a los materiales, con lo que se verifica las propiedades de los estos. Los ensayos que se realizaron para determinar estas características se muestran en la Tabla N° 4.1.

TABLA N° 4.1: ENSAYOS A REALIZAR A LOS MATERIALES

Prueba	Norma
Muestreo de agregados	ASTM D-75
Reducción a tamaño de prueba	ASTM C-702
Análisis granulométrico	ASTM C-136
Gravedad específica y absorción	ASTM C-127 (agregado Grueso) ASTM C-128 (agregado fino)
Contenido de humedad	ASTM C-566
Peso volumétrico	ASTM C-29
Gravedad específica del Cemento	ASTM C 188

Fuente: Los autores

Los resultados de cada ensayo se encuentran reflejados en la Tabla N° 4.2

TABLA N° 4.2: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS MATERIALES

Material	Prueba	Resultado	Requisito	Cumple	Referencias
Agregado Fino	ASTM C 136	MF = 2.40	Según ASTM C 33 2.3 < MF < 3.1	si	Tabla 4.3
	ASTM C 128	Gs seca = 2.47 Gs sss = 2.57 % Abs = 4.20	2.4 < Gs < 2.9 % Abs < 6 %	si	Tabla 4.4
Agregado Grueso	ASTM C 136	Grava N° 67	Según ASTM C 33	si	Tabla 4.5
	ASTM C 127	Gs seca = 2.60 Gs sss = 2.66 % Abs = 2.20	2.4 < Gs < 2.9 % Abs < 4 %	si	Tabla 4.6
	ASTM C 29	P.V.V = 1528 kg/cm ³ P.V.S = 1406 kg/cm ³	P.V.S 1260- 1750 kg/m ³	si	Tabla 4.7
Cemento	ASTM C 188	Gs = 2.94	-	si	Tabla 4.8

Fuente: Los autores

A continuación se detallan los datos obtenidos en laboratorio para cada ensayo:

Tabla N° 4.3: RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO



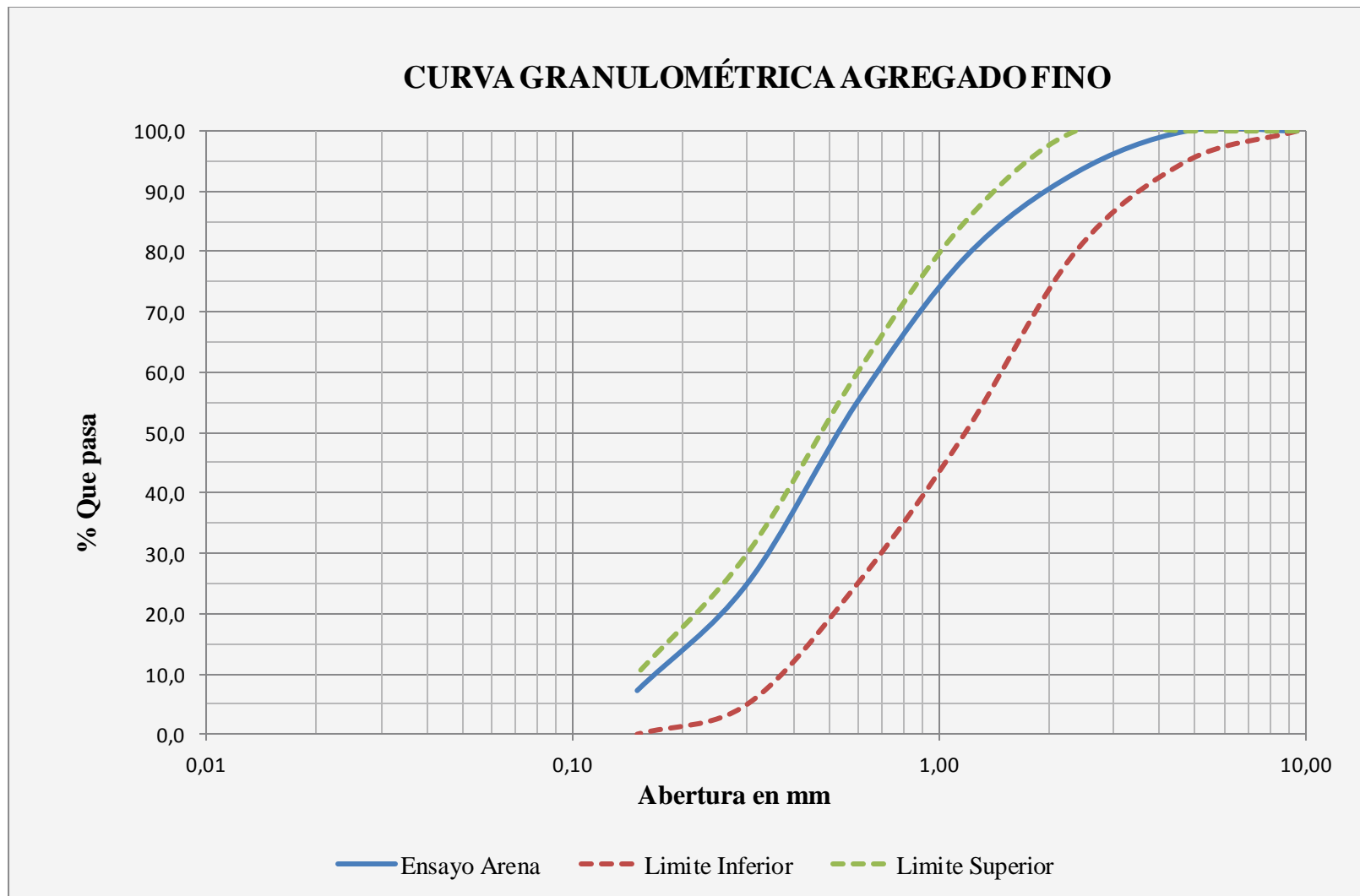
	<p>Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCYC Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espinó y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164</p>				
<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO ASTM C-136</p>					
<p>PROYECTO : SOLICITANTE :</p>	<p><u>TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"</u> <u>MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS</u></p>				
<p>TIPO DE MUESTRA: FECHA DE MUESTREO: FECHA DE ENSAYO: MUESTREO OBSERVACIONES:</p>	<p><u>ARENA</u> <u>03 DE MAYO DE 2011</u> <u>04 DE MAYO DE 2011</u> <u>REALIZADO POR PERSONAL DEL ISCYC</u></p>				
	<p><i>Módulo de finura 2.40</i></p>				
<p>HOJA DE LABORATORIO</p>					
<p>MASA TARA, g = 101</p>		<p>MASA TARA + MUESTRA, g = 818.5</p>		<p>MASA MUESTRA, g = 717.5</p>	
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULAD	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
					<i>Rangos ASTM C-33</i>
3/8"	0.0	0	0	100	100
No.4	0.0	0	0	100	95-100
No.8	49.8	7	7	93	80-100
No.16	100.4	14	21	79	50-85
No.30	171.3	24	45	55	25-60
No.50	216.6	30	75	25	5-30
No.100	127.5	18	93	7	0-10
FONDO	51.9	7	100	0	
SUMAS	717.5	100			

FIGURA 4.1: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 33



**Tabla N° 4.4 : RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN
(AGREGADO FINO)**



		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			
		MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM C 128			
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"				
SOLICITANTE:	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS				
MUESTRA:	ARENA				
PROCEDENCIA	PLANTEL COMALAPA, RIO JIBOA				
MUESTREO:	REALIZADO POR PERSONAL DEL ISCYC				
FECHA DE MUESTREO:	03 DE MAYO DE 2011				
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MAYO DE 2011				
OBSERVACIONES:					
HOJA DE LABORATORIO					
MUESTRA No: 1			MUESTRA No: 2		
S MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500	S MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500		
B MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1443.5	B MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1443.5		
C MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1748.5	C MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1749.4		
MASA SECA DE LA MUESTRA + TARA (g):	776.9	MASA SECA DE LA MUESTRA + TARA (g):	809.4		
MASA TARA (g):	297.4	MASA TARA (g):	329.2		
A MASA SECO DE LA MUESTRA (g):	479.5	A MASA SECO DE LA MUESTRA (g):	480.2		
AGUA (g):	20.5	AGUA (g):	19.8		
ABSORCIÓN, (%)	4.28	ABSORCIÓN, (%)	4.12		
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.46	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.47		
GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.56	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.58		
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA PROMEDIO:	2.47	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS PROMEDIO:	2.57		
ABSORCIÓN PROMEDIO, (%)			4.20		
FORMULAS:					
Agua: $W_{sss} (g) - W_{seco}(g)$		g			
Absorción: $(S - A) \times 100 / A$		%			
G. E. Seca: $A / (B+S-C)$					
G. E. SSS: $S / (B+S-C)$					

Tabla N° 4.5: RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO



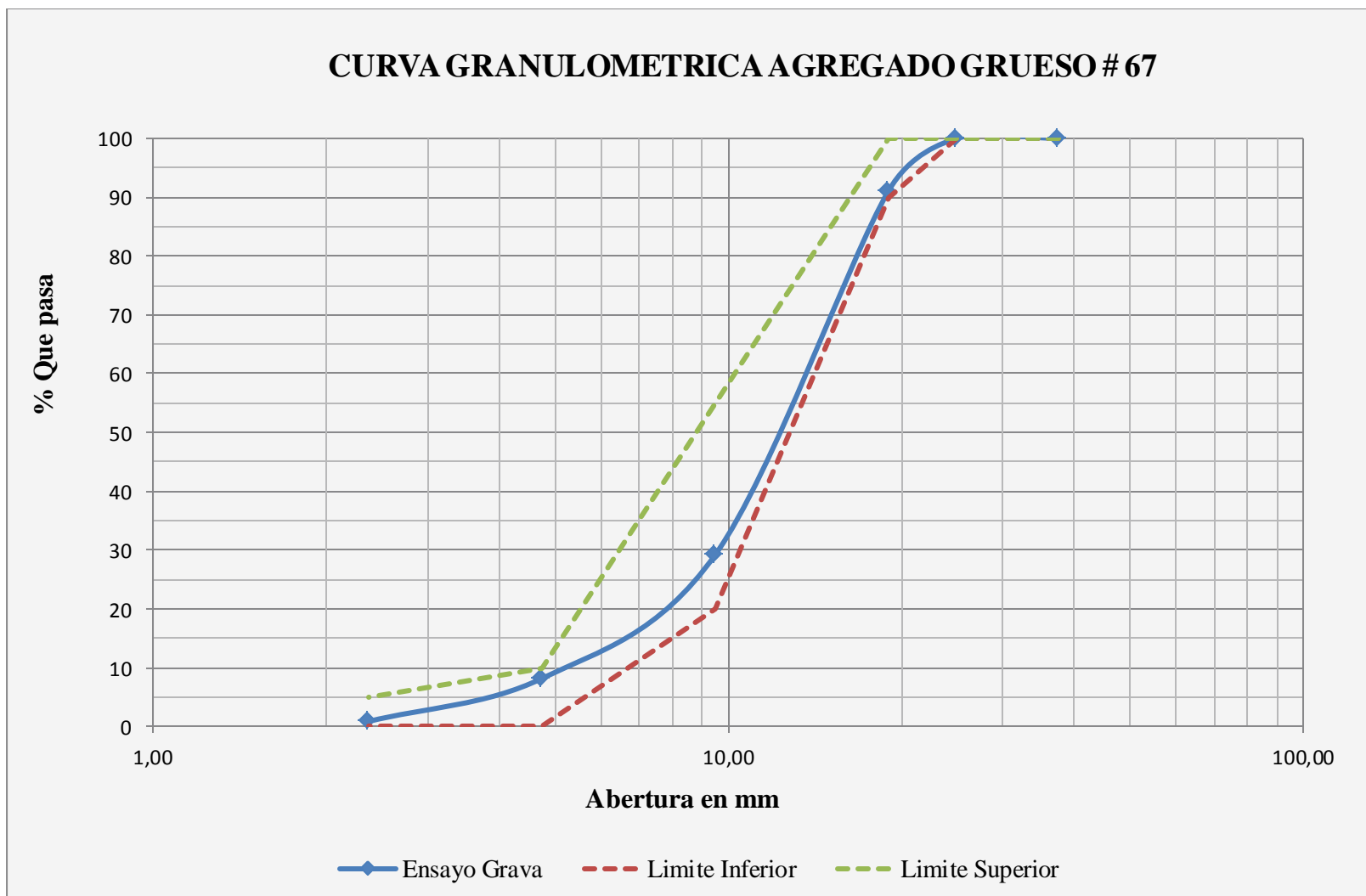


	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto				
	Centro de Investigaciones ISCYC				
Urb. Madre Selva, 3 ^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164					
MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO ASTM C 136					
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"				
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS				
TIPO DE MUESTRA:	GRAVA				
FECHA DE MUESTREO:	03 DE MAYO DE 2011				
FECHA DE ENSAYO:	04 DE MAYO DE 2011				
MUESTREO	REALIZADO POR PERSONAL DEL ISCYC				
OBSERVACIONES:					
HOJA DE LABORATORIO					
MASA TARA, g =	334.4	MASA TARA + MUESTRA, g =	6022.2	MASA MUESTRA, g =	5687.8
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
					Rangos ASTM C-33
1 1/2"					
1"	22.75	0.40	0	100	100
0.75	484.60	8.52	9	91	90-100
0.50	2087.42	36.70	46	54	
0.38	1428.78	25.12	71	29	20-55
No.4	1197.85	21.06	92	8	0-10
No.8	419.76	7.38	99	1	0-5
pasa No. 8	46.64	0.82	100	0	
SUMAS	5687.8	100			

FIGURA 4.2: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN ASTM C 33, GRAVA N° 67



**Tabla N° 4.6 : RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN
(AGREGADO GRUESO)**

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO ASTM C 127			
 <p style="text-align: center;">Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC <i>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</i></p> 			
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"		
SOLICITANTE:	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS		
MUESTRA:	GRAVA		
PROCEDENCIA	PLANTEL COMALAPA		
MUESTREO:	REALIZADO POR PERSONAL DEL ISCYC		
FECHA DE MUESTREO:	03 DE MAYO DE 2011		
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MAYO DE 2011		
OBSERVACIONES:			
HOJA DE LABORATORIO			
MUESTRA No: 1		MUESTRA No: 2	
MASA TARA/ SSS (g):	5.6	MASA TARA/ SSS (g):	5.4
MASA SATURADA, W _{sss} + TARA (g):	3477	MASA SATURADA, W _{sss} + TARA (g):	3794
MASA SATURADA, W _{sss} (g):	3471.4	MASA SATURADA, W _{sss} (g):	3787.1
MASA TARA SUMERGIDA (g):	849	MASA TARA SUMERGIDA (g):	849
MASA SUMERGIDA, W _{sum} + TARA SUM (g):	3016	MASA SUMERGIDA, W _{sum} + TARA SUM (g):	3211
MASA SUMERGIDA NETA, W _{sum} (g):	2167	MASA SUMERGIDA NETA, W _{sum} (g):	2362
MASA TARA/seca (g):	305.5	MASA TARA/seca (g):	337.9
MASA SECA, W _{seca} + TARA (g):	3700	MASA SECA, W _{seca} + TARA (g):	4046
MASA SECA, W _{seca} (g):	3394.5	MASA SECA, W _{seca} (g):	3708.1
AGUA (g):	76.9	AGUA (g):	80.5
ABSORCIÓN, (%)	2.27	ABSORCIÓN, (%)	2.13
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.60	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.60
GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.66	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.66
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA PROMEDIO:	2.60	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS PROMEDIO:	2.66
ABSORCIÓN PROMEDIO, (%)			2.20
FORMULAS:			
<p style="margin-left: 40px;"> Agua: $W_{sss} (g) - W_{seco}(g)$ g Absorción: $(S - A)X100 / A$ % G. E. Seca: $A / (B+S-C)$ G. E. SSS: $S / (B+S-C)$ </p>			

**Tabla N° 4.7: RESULTADOS DE PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO
(AGREGADO GRUESO)**





	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC <i>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</i>		
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y VACIOS EN AGREGADOS ASTM C 29			
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"		
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS		
MUESTRA:	GRAVA		
FECHA DE MUESTREO:	03 DE MAYO DE 2011		
FECHA DE ENSAYO:	04 DE MAYO DE 2011		
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.00943 m ³		
PESO DEL RECIPIENTE	5,45 kg		
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el personal del ISCYC.		
HOJA DE LABORATORIO			
SUELTO		VARRILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACIO (Kg):	5.433	A MASA RECIPIENTE VACIO (Kg):	5.433
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00943	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00943
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #1:	18679	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #1:	19856
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #2:	18726	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #2:	19795
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #3:	18664	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #3:	19870
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) PROM.:	18.69	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) PROM.:	19.84
C MASA + AGREGADO (Kg) PROMEDIO:	13.26	C MASA + AGREGADO (Kg) PROMEDIO:	14.41
PESO UNITARIO (kg/m3)	1405.80	PESO UNITARIO (kg/m3)	1528.00
FORMULAS: C Masa Agregado Promedio: (MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO) - A = kg Peso Unitario: (C/B) = kg/m ³			
CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE (cada año)			
A MASA RECIPIENTE VACIO (Kg):		A MASA RECIPIENTE VACIO (Kg):	
D MASA DE VIDRIO (kg) ²		B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	
E MASA RECIPIENTE + VIDRIO + AGUA (Kg):		MASA RECIPIENTE + AGREGADO (Kg) #1:	
F MASA DEL AGUA = (E - A - D)=			kg
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = F/G =			m ³

Tabla N° 4.8: RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

 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 				
MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO ASTM C-188				
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"			
SOLICITA:	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS			
FECHA DE SOLICITUD:	02 DE MAYO DE 2011			
FECHA DE ENSAYO:	03 DE MAYO DE 2011			
MATERIAL	CEMENTO			
TIPO DE CEMENTO:	TIPO HE, ASTM C 1157			
LIQUIDO UTILIZADO:	Nafta	<input type="checkbox"/>		
	Kerosene	<input checked="" type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES:	_____			
HOJA DE LABORATORIO				
ENSAYO N° :	1	2		
PESO DE CEMENTO UTILIZADO (g)	64.4	64.1		
VOLUMEN INICIAL, Vi (cm ³)	0.2	0.6		
VOLUMEN FINAL, Vf (cm ³)	22.1	22.5		
VOLUMEN DESPLAZADO (g)	21.9	21.9		
DENSIDAD DEL CEMENTO (g/cm ³)	2.94	2.93		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DEL CEMENTO				
TEMPERATURA DE ENSAYO	24.4	22.8		
PESO ESPECIFICO RELATIVO PROMEDIO DEL CEMENTO	2.94			
FORMULAS:				
Densidad de Cemento = $\frac{\text{Peso del Cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$				

4.3 CALCULO DE DISEÑO DE MEZCLAS

En la sección 3.3.3 del Capítulo III de este documento, se explica la metodología a seguir para la proporción utilizada en el diseño de la mezcla.

Una vez conocidos los resultados de laboratorio a los materiales (grava, arena, cemento) y definidas las propiedades de la mezcla se procede al cálculo de proporcionamiento según el ACI 211.3. Utilizando la metodología 1: “Procedimiento para proporciónar CCR para cumplir con los límites especificados de consistencia”.

Este método utiliza el ensayo Vebe como base para determinar la trabajabilidad óptima y proporciones de los agregados; determinando el tiempo de vibrado utilizado para la consolidación y comparándola con ensayos de campo con rodillos vibradores. El tiempo deseado es determinado con respecto a la consistencia que se desee trabajar.

Los pasos a seguir para el diseño de la mezcla que se siguieron en esta investigación son los siguientes y están basados en el comité ACI 211.3:

Paso 1: Selección de la consistencia

Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Paso 3: Determinación de la resistencia promedio requerida

Paso 4: Selección de la relación agua-cemento (a/c)

Paso 5: Calculo de la cantidad aproximada de agua de mezcla

Paso 6: Calculo de la cantidad de material cementicio

Paso 7: Selección de la cantidad de agregado grueso

Paso 8: Calculo de la cantidad de agregado fino

Paso 9: Correcciones por humedad

El diseño se hará para un pavimento; esperando una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² a 28 días. El Tamaño máximo nominal del agregado grueso será de ¾ pulg y el agregado fino tendrá un Modulo de Finura de 2.40.

El peso volumétrico seco varillado del agregado grueso es de 1528 kg/m³. La gravedad especifica seca de la grava es de 2.60 y su absorción de 2.20 %. Mientras que para el agregado fino se tiene una gravedad especifica seca de 2.47 y una absorción de 4.20 %.

Los pavimentos de CCR generalmente son vibrados de forma externa e interna para lograr la compactación, o el uso de aditivos fluidificantes para lograr mejor trabajabilidad. Sin el uso de aditivos en este trabajo de graduación la mezcla será elaborada para una consistencia seca, logrando una trabajabilidad aceptable.

Dado que la exposición del concreto en pavimentos en nuestro país no es severa a congelación o deshielo se puede diseñar un pavimento sin aire incluido.

Los parámetros de diseño se muestran en la Tabla N° 4.9.

TABLA N° 4.9: **PARÁMETROS DE DISEÑO**

Característica	Valores
Consistencia: Seca	Tiempo Vebe: 5 a 10 s
Resistencia a la compresión	280 kg/cm ²
Tipo de Cemento	ASTM C 1157 "HE"
Aire	No incluido

Fuente: Los autores

Los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio para iniciar el proporcionamiento del diseño de la mezcla, son los que se muestran como resumen en la Tabla N° 4.10.

TABLA N° 4.10: **RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS MATERIALES**

Material	Módulo de Finura	P V V (kg/m ³)	Absorción (%)	Gravedad específica (g)
Agregado fino	2.40		4.20	2.47 (seca)
Agregado grueso TMN = ¾		1528	2.20	2.60 (seca)
Cemento				2.94
Agua				1.00

Fuente: Los autores

Siguiendo la metodología que propone el comité ACI 211.3, descrita en el Capítulo II, sección 2.6.4.5 se tiene lo siguiente:

4.3.1 Paso 1: Selección de la consistencia

La consistencia a elegir depende de la capacidad del equipo de compactación; para mezclas de CCR elaboradas con el equipo de la mesa vibratoria, las consistencias pueden variar entre seca a extremadamente seca.

Las mezclas extremadamente secas usualmente utilizan aditivos fluidificantes que contribuyen a mejorar la trabajabilidad; por tal razón se eligió una mezcla seca y no extremadamente seca, evitando así el uso de aditivos que generaría una variable más en el diseño.

En la Tabla N° 4.11 se encuentran los valores recomendados para la consistencia según el ACI 211.3; la consistencia a utilizar en esta investigación será: SECA.

TABLA N° 4.11: COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONSISTENCIA PARA REVENIMIENTOS Y EL APARATO VEBE.

Descripción de consistencia	Revenimiento (mm)	Tiempo Vebe (s)
Extremadamente seca	-----	18 a 32
Muy seca	-----	10 a 18
Seca	0 a 25	5 a 10
Semi Plástica	25 a 75	3 a 5
Plástica	75 a 125	0 a 3
Muy Plástica	125 a 190	-----

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 “Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento”

4.3.2 Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado

En pavimentos el Tamaño Máximo Nominal del agregado se limita a 19 mm (3/4 pulg) para proveer una superficie suave y densa. Por tal razón se eligieron los siguientes parámetros:

- Tamaño Máximo: 1 pulg
- Tamaño Máximo Nominal: 3/4 pulg

4.3.3 Paso 3: Determinación de la Resistencia de Diseño (f'_{cr})

La resistencia a compresión para mezclas usadas en pavimentos de CCR puede variar entre 280 a 420 kg/cm², tomando en cuenta que en esta investigación la mezcla solo se reproducirá en laboratorio se decidió tomar un f'_{c} bajo.

- Resistencia Requerida (f'_{c}): 280 kg/cm²

Al no tener registros estadísticos para este tipo de mezcla, se tomaran parámetros empíricos sobre el coeficiente de variación, esperando que los resultados estén dentro de estos rangos.

- El coeficiente esperado de la variación de esfuerzos es del 10 %.
- Es requerido que no más de un ensayo de 10, tenga valores debajo del esfuerzo de compresión de diseño

Cálculo de Resistencia de Diseño (f'_{cr}) según ACI 214R-9:

En la Figura N° 4.3, tomando un coeficiente de Variación del 10 % y una probabilidad de resistencia debajo de la especificada de 1 en 10, el factor a utilizar es 1.15. Con la ecuación (4.1) se determina la Resistencia de Diseño.

$$f'_{cr} = FACTOR \times f'_c \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

$$f'_{cr} = 1.15 \times 280 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'_{cr} = 322.0 \frac{kg}{cm^2}$$

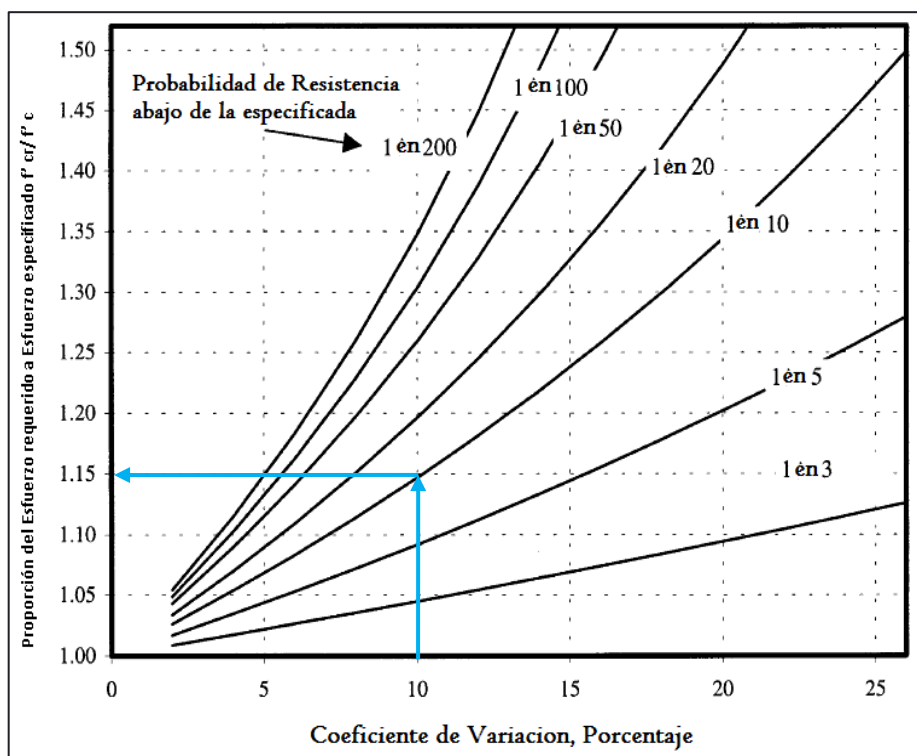
Las tablas para el proporcionamiento de mezclas de CCR, en el comité ACI 211.3 están dadas para cementos de Tipo I y II, basados en la norma ASTM C 150; para diseño de pavimentos en la actualidad se utiliza cemento tipo HE basado en la norma ASTM C 1157, por lo cual, para el uso de estas tablas utilizando otros tipos de cemento se debe multiplicar por un factor de corrección. Para este tipo de cemento (HE), la Resistencia de Diseño debe ser multiplicada por un factor de 1.1¹².

$$f'_{cr} = 1.1 \times 322.0 \frac{kg}{cm^2} = 354.2 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'_{cr} = 354.2 \frac{kg}{cm^2}$$

¹² Este valor obedece a la experiencia del ISCYC, en cálculos para proporcionamiento. Si se desea realizar el diseño con otro tipo de cemento, los valores a considerar deben ser investigados para realizar las correcciones.

FIGURA N° 4.3: RELACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f_{cr} A RESISTENCIA ESPECÍFICA f_c DE DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIACIÓN Y LAS PROBABILIDADES DE CAER POR DEBAJO DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.



Fuente: Comité ACI 214R-9 "Evaluación de los resultados de la prueba de resistencia del concreto"

Capítulo 4, Sección 4.3, Pág. 9.

4.3.4 Paso 4: Determinar la relación Agua/ Cemento (a/c)

La relación a/c requerida para producir una consistencia deseada depende del esfuerzo de compresión y si la mezcla tendrá aire incluido o no.

La tabla N° 4.12 proporciona estimaciones de relaciones a/c. Se tiene una resistencia de 354.2 kg/cm^2 convertido a PSI se tiene lo siguiente:

$$f'_{cr} = 354.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 5035 \text{ PSI}$$

TABLA N° 4.12: RELACIONES ENTRE AGUA-MATERIAL CEMENTANTE Y EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

Resistencia a la compresión a 28 días, psi*	Relación agua- material cementante, en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0,33	-
6000	0,41	0,32
5000	0,48	0,40
4000	0,57	0,48
3000	0,68	0,59
2000	0,82	0,74

*Resistencia basada en moldes cilíndricos de 15x30 cm, curados a 28 días a 23 ± 1.7 °C. En conformidad con la sección 9 de la ASTM C 31.

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento", Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 9.

Con un $f'_{cr} = 5035$ PSI y para una mezcla sin aire incluido se tienen dos valores en tabla:

Para 6000 PSI ----- 0.41

Para 5000 PSI ----- 0.48

En este caso, se debe realizar una interpolación ya que para una resistencia de 5035 PSI la relación a/c no está definida en Tabla.

Interpolando se obtiene una relación **a/c = 0.48**

4.3.5 Paso 5: Determinar el peso de la cantidad aproximada de agua de mezcla

El agua necesaria depende de la consistencia, el tamaño máximo del agregado y de la utilización de aire en la mezcla. Para producir una consistencia SECA, la cantidad de agua en peso necesaria para un metro cúbico de CCR es proporcionada por la Tabla N° 4.13, en base al Tamaño máximo del agregado.

Con el Tamaño Máximo de 1 pulg = 25 mm y una consistencia seca se tiene:

$$\text{Peso del agua} = 169 \text{ kg/m}^3$$

La cantidad aproximada de aire atrapado en concretos sin aire adicionado según la tabla N° 4.13 es:

$$\text{Cantidad de aire atrapado} = 1.5\%$$

TABLA N° 4.13: REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA
PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE
AGREGADOS

CONSISTENCIA			Contenido relativo de agua, (%)	Agua, kg/m ³ de concreto para tamaños máximos indicados de agregado grueso, mm				
Descripción	Revenimiento (pulg)	Tiempo Vebe (s)		10	15	20	25	40
<i>Concreto sin aire incluido</i>								
Extremadamente seca	-	18 - 32	78	178	169	157	148	139
Muy seca	-	10 - 18	83	187	187	169	157	148
Seca	0 - 1	5 - 10	88	199	193	178	169	157
Semi Plástica	1 - 3	3 - 5	92	208	199	187	178	163
Plástica	3 - 5	0 - 3	100	228	217	199	193	178
Muy Plástica	5 - 7 1/2	-	106	243	228	214	208	187
Cantidades aproximadas de aire atrapado en concretos sin aire adicionado, porcentaje				3	2,5	2	1,5	1
<i>Concreto con aire incluido</i>								
Extremadamente seca	-	18 - 32	78	157	148	139	133	125
Muy seca	-	10 - 18	83	169	157	148	139	133
Seca	0 - 1	5 - 10	88	178	169	157	148	139
Semi Plástica	1 - 3	3 - 5	92	187	175	166	157	148
Plástica	3 - 5	0 - 3	100	202	193	178	178	157
Muy Plástica	5 - 7 1/2	-	106	217	208	193	187	169
Recomendaciones promedios de contenido de aire total, porcentaje *				8	7	6	5	4,5
*Para consistencias menores de 25 mm, el volumen de aire atrapado puede ser menor que para mezclas de consistencias plásticas, ya que se pueden utilizar un aditivo gasificante, no así para las mezclas de consistencias secas.								

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento"

4.3.6 Paso 6: Calcule la cantidad de material cementicio

Conocida la relación $a/c = 0.48$ y el peso del agua de mezclado para un metro cúbico de 169 kg/m^3 . El peso de cemento por metro cúbico será determinado con la ecuación (4.2)

$$\text{Peso del cemento} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{Relacion } \frac{a}{c}}$$

Ecuación (4.2)

$$\text{Peso del cemento} = \frac{169.0 \text{ kg/m}^3}{0.48} = 352.08 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del cemento para un metro cúbico} = 352.08 \text{ kg/m}^3$$

4.3.7 Paso 7: Determine la cantidad de agregado grueso

Para determinar la cantidad de agregado grueso, primero es necesario conocer el volumen de agregado grueso para una consistencia plástica (con revenimiento).

De la Tabla N° 4.14 para:

- ✓ Módulo de Finura = 2.40
- ✓ Tamaño máximo = 1 pulg = 25 mm

Volumen de agregado grueso para una mezcla de consistencia plástica = $0.71 \text{ m}^3/\text{m}^3$

TABLA N° 4.14: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO DE CONSISTENCIA PLÁSTICA.

Tamaño Máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso seco por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de arena				
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
15	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
40	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento"

Apéndice 1, Sección A1.3, Pág. 10.

De la tabla N° 4.15, el porcentaje de agregado grueso para producir una mezcla con consistencia SECA y un tamaño máximo de 25 mm, es de 115 % del volumen del agregado para una consistencia plástica.

El volumen total de agregado grueso seco se calcula con la ecuación (4.3)

$$\text{Vol. Agregado Grueso} = \frac{\text{Vol. consistencia plástica} \times \% \text{Equivalente}}{100} \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

$$\text{Vol. Agregado Grueso} = \frac{0.71 \times 115}{100} = 0.82 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.82 \text{ m}^3$$

Para conocer la cantidad de agregado grueso seco en peso se tiene:

$$\text{Peso del agregado} = \text{Peso volumétrico varillado} \times \text{volumen} = 1528 \times 0.82$$

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 1252.96 \text{ kg} \approx 1253 \text{ kg}$$

TABLA N° 4.15: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS.

Consistencia			Volumen de agregado grueso seco por unidad de volumen de concreto para tamaño máximo de agregado mostrados (expresados como un porcentaje de los valores mostrados en la Tabla N° 2.16 (A)).				
Descripción	Revenimiento (mm)	Tiempo Vebe (s)	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	40 mm
Extremadamente seca	-	18 - 32	190	170	145	140	130
Muy seca	-	10 - 18	160	145	130	125	125
seca	0 - 25	5 - 10	135	130	115	115	120
Semi Plástica	25 - 75	3 - 5	108	106	104	106	109
Plástica	75 - 125	0 - 3	100	100	100	100	100
Muy Plástica	125 - 190	-	97	98	100	100	100

Fuente: Comité ACI 211.3R-97 "Guía para la selección de proporcionamiento para concreto sin revenimiento",

4.3.8 Paso 8: Determinar la cantidad de agregado fino

El volumen de agregado fino seco a utilizar es calculado restando de un metro cúbico, la sumatoria de los volúmenes absolutos de los materiales (agua, cemento, agregado grueso seco y aire). Los volúmenes de cada material se deberán calcular utilizando la ecuación (4.4)

$$\text{Volumen del material} = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Peso Específico}} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Resumen de cantidades de materiales en kg:

Cemento	352 kg
Agregado Grueso seco.....	1253 kg
Agua.....	169 kg
Aire.....	1.5 %

$$\text{Volumen de Cemento} = \frac{352 \text{ kg}}{2.94 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.1197 \cong 0.120 \text{ m}^3 = 120 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso} = \frac{1253 \text{ kg}}{2.60 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.482 \text{ m}^3 = 482 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de Agua} = \frac{169 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.169 \text{ m}^3 = 169 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de aire} = \frac{1.50}{100} = 0.015 \text{ m}^3 = 15 \text{ l}$$

Volumen de materiales sin agregado fino = 0.786 m³, calculados de la siguiente manera:

Cemento	0.120 m ³
Grava	0.482 m ³
Agua	0.169 m ³
<u>Aire</u>	<u>0.015 m³</u>
Total	0.786 m³ = 786 l

$$\text{Volumen de Agregado fino seco} = 1 \text{ m}^3 - 0.786 \text{ m}^3 = 0.214 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Agregado Fino} = 0.214 \text{ m}^3 = 214 \text{ l}$$

Determinado el volumen de agregado fino para 1 m³ de CCR, se calcula el peso del agregado fino con la Ecuación (4.5):

$$\begin{aligned} \text{Peso agregado fino} &= (\text{Volumen del agregado fino}) \times \\ &\quad (\text{Gravedad Específica basada en agregado fino seco}) \end{aligned}$$

Ecuación (4.5)

$$\text{Peso agregado fino} = 0.214 \text{ m}^3 \times 2.47 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 528.58 \text{ kg}$$

$$\text{Peso agregado fino seco} = 529 \text{ kg}$$

Las proporciones finales de los componentes se muestran en la tabla N° 4.16.

TABLA N° 4.16: PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento	352	0.120
Agregado Grueso Seco	1253	0.482
Agregado Fino Seco	529	0.214
Agua	169	0.169
Aire	-	0.015
Total	2303	1.00

Fuente: Los autores

4.3.9 Paso 9: Correcciones por humedad.

Para conocer las características de la primera mezcla de prueba, a la cual se le realizara el ensayo de consistencia y resistencia a la compresión a 7 y 28 días, será necesario realizar los ajustes a la mezcla, por humedad de los agregados utilizados.

Las características “in situ” de los materiales, mostrados en la tabla N° 4.17, fueron determinados mediante ensayos de Contenido de Humedad explicado en la sección 3.3.2.5 de esta tesis.

TABLA N° 4.17: HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS DETERMINADAS EN LABORATORIO

Materiales	Humedad (%)	Absorción (%)
Agregado Grueso	1.40	2.20
Agregado Fino	13.10	4.20

Fuente: Los autores

4.3.9.1 Cálculo de ajuste por humedad de agregados

La cantidad de agua en peso contenida en la arena y la grava es calculada en base a la ecuación (4.6)

$$\text{Peso del agua contenida en el agregado} = \frac{\text{Cont. Humedad}}{100} \times \text{Peso del agregado seco}$$

Ecuación (4.6)

Arena:

$$\text{Peso del agua contenida en la Arena} = \frac{13.10}{100} \times 529 \text{ kg} = 69.3 \text{ kg}$$

Grava:

$$\text{Peso del agua contenida en la Grava} = \frac{1.40}{100} \times 1253 \text{ kg} = 17.5 \text{ kg}$$

Sera necesario calcular el porcentaje de agua libre de cada material, el cual será utilizado para determinar posteriormente el volumen de agua aportada por el material, este porcentaje es calculado con la ecuación (4.7):

$$\% \text{ de agua libre del material} = \% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción} \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

Arena:

$$\% \text{ de agua libre de arena} = 13.10 - 4.20 = 8.90 \%$$

Grava:

$$\% \text{ agua libre de grava} = 1.40 - 2.20 = -0.80 \%$$

El volumen de agua aportada por los agregados es determinada utilizando la ecuación (4.8):

$$\text{volumen del agua aportada por el agregado} = \frac{\% \text{ de agua libre}}{100} \times \text{Peso del material}$$

Ecuación (4.8)

Arena:

$$\text{volumen de agua aportada por la arena} = \frac{8.90}{100} \times 529 \text{ Kg} = 47.1 \text{ l}$$

Grava:

$$\text{Volumen de agua aportada por grava} = \frac{-0.80}{100} \times 1253 \text{ Kg} = -10 \text{ l}$$

El agua total aportada para un metro cúbico, se determina con la suma del agua aportada por la arena, mas el agua aportada por la grava = $47.1 + (-10.0) = 37.1 \text{ l}$

Con esta corrección se calculan los pesos de los agregados húmedos para un metro cúbico, que serán utilizados para la reproducción de la mezcla de laboratorio, utilizando la ecuación (4.9).

Ecuación (4.9):

$$\text{Peso de agregado húmedo} = (\text{peso de agregado seco}) + (\text{peso del agua contenida en el agregado kg})$$

Grava:

$$\text{Peso de grava húmedo} = 1253 + 17.5 = 1270.5 \text{ Kg}$$

Arena:

$$\text{Peso de arena húmeda} = 529 + 69.3 = 598.3 \text{ kg}$$

La tabla N° 4.18 muestra el resumen de las proporciones corregidas por humedad.

TABLA N° 4.18: PROPORCIÓN DE LA MEZCLA CORREGIDA POR HUMEDAD PARA 1 m³

Materiales	Pesos corregidos (kg) para 1 m³
Cemento	352
Agua	131.90
Grava húmeda	1270.50
Arena húmeda	598.30
Total	2352.70

Fuente: Los autores

4.4 REPRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Para determinar la resistencia a la compresión de esta mezcla se harán 4 cilindros; de los cuales 2 serán ensayados a los 7 días y 2 a los 28 días.

El volumen de la mezcla de prueba para ser reproducida en laboratorio, se calcula de la siguiente manera:

4.4.1 CÁLCULO DE VOLUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA

Volumen para un cilindro de dimensiones:

$$D = 6 \text{ pulg (15.1 cm)}$$

$$H = 12 \text{ pulg (30.5 cm)}$$

$$\text{Vol. Cilindro} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$\text{Vol. Cilindro} = \frac{\pi}{4} \times (15.1)^2 \times 30.5 = 5461.9 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Cilindro} = 5461.9 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen para 4 cilindros} = 4 \times 5461.9 = 21847.6 \text{ cm}^3 = 0.022 \text{ m}^3$$

$$\text{El Volumen de desperdicio utilizado será del 30 \%} = 0.022 \times 1.30 = 0.028 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen utilizado} = 0.028 \text{ m}^3$$

Cálculo del proporcionamiento de todos los componentes al tamaño de mezcla de ensayo, las cantidades mostradas en resumen se encuentran en la tabla N° 4.18.

$$\text{Cantidad de Cemento} = \frac{352 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 0.028 \text{ m}^3 = 9.86 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de Agregado Grueso} = \frac{1270.5 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 0.028 \text{ m}^3 = 35.57 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de Agregado Fino} = \frac{598.3 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 0.028 \text{ m}^3 = 16.75 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de Agua} = \frac{131.9 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 0.028 \text{ m}^3 = 3.69 \text{ kg}$$

En la Tabla N° 4.19 se muestra la proporción de mezcla para una batchada, con las correcciones hechas por humedad.

TABLA N° 4.19: PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE ENSAYO

Materiales	Pesos corregidos (kg)
Cemento	9.86
Agua	3.69
Grava húmeda	35.57
Arena húmeda	16.75
Total	65.87

Fuente: Los autores

4.4.2 PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA

La tabla N° 4.20, se muestra en resumen el cálculo del proporcionamiento y la visualización de los resultados obtenidos. Las cantidades que aparecen en rojo son datos de entrada, los cuales son introducidas a la hoja de cálculo electrónica.

Realizada la mezcla y reproducida en el laboratorio, se moldearon los 4 cilindros utilizando el Martillo Vibrocompactador para ensayarse a las edades de 7 y 28 días (según el comité ACI 318 deben hacerse al menos tres probetas cilíndricas en las mezclas de prueba), los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 4.22.

TABLA N° 4.20: PRIMER CÁLCULO DEL PROPORCIONAMIENTO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE CCR		
MÉTODO ACI 211.3		
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"	
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS	
ESTRUCTURA :	PRIMER DISEÑO	
LABORATORISTA:		f'c = 280 kg/cm2
Fecha de Diseño:	17/05/2011	f'cr = 354.2 kg/cm2
Fecha de Mezcla:	18/05/2011	Consistencia = Seca
		Tipo de Cemento: HE
		G. Específica : 2.94
DATOS DE AGREGADOS		Cemento
	Arena río JIBOA	Grava 3/4"
(a) gravedad específica (G)	2.47	2.60
(b) Peso Volumétrico (kg/m ³)	--	1528
(c) Humedad (%)	13.10	1.40
(d) Absorción (%)	4.20	2.20
M.F.	2.40	--
TMN	---	3/4"
CÁLCULOS		
Relación A/C	0.48	
Agua	169	L/m ³
Cemento	352	kg/m ³
Volumen de agregado grueso	0.82	m ³
Peso de agregado grueso seco	1253	kg/m ³
Aire atrapado	1.50	%
Volumen sólido de cemento	120	L
Volumen de agua	169	L
Volumen de grava	482	L
Volumen de aire	15	L
Volumen total sin arena	786	L
Volumen sólido de arena	214	L
Peso de arena	529	kg
Corrección por humedad y absorción		8.3 Bolsas
Humedad de arena	69.4	kg
Humedad de grava	17.5	kg
Agua libre de arena	8.90	%
Agua libre de grava	-0.80	%
Agua aportada por arena	47.1	L
Agua aportada por grava	-10.0	L
Agua aportada	37.1	L
<i>Cantidades requeridas para un metro cúbico de concreto</i>		
Calculadas		
Cemento	352	kg
Agua	169	L
Arena Seca	529	kg
Grava seca	1253	kg
Usadas en la Obra		
Cemento	352	kg/m ³
Agua	131.9	L
Arena húmeda	598.3	kg
Grava Húmeda	1270.5	kg
	2353	
PARA	0.028	m ³
Cemento	9.86	kg
Agua	3.69	l
Arena	16.75	kg
Grava	35.57	kg
OBSERVACIONES:		

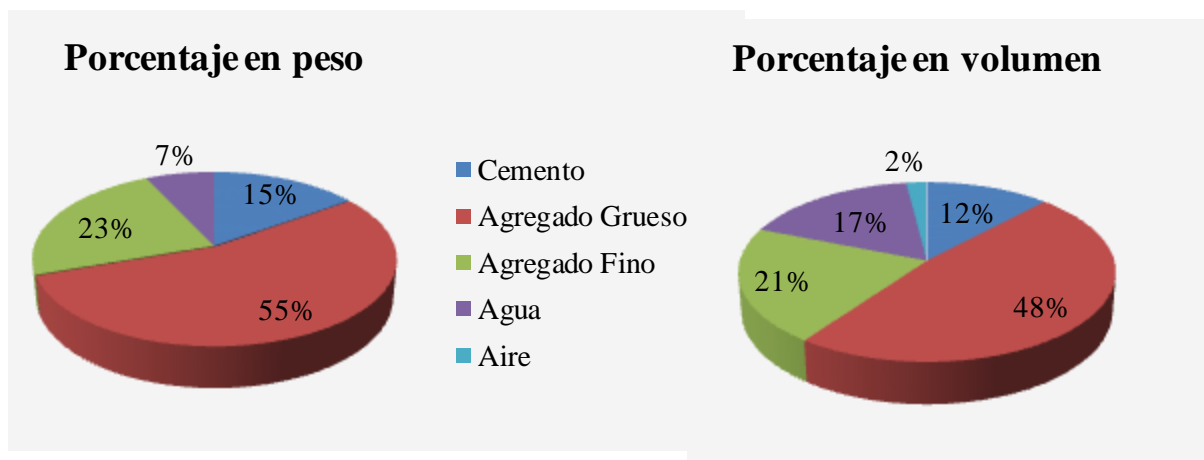
Las proporciones de los componentes utilizados en la primera mezcla de prueba se muestran en la tabla N° 4.21, en la figura N° 4.4 se detallan los porcentajes en peso y en volumen utilizados para un metro cúbico de CCR.

TABLA N° 4.21: PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	352	0.120
Agregado Grueso Seco	1253	0.482
Agregado Fino Seco	529	0.214
Agua	169	0.169
Aire	-	0.015
Total	2303	1.00

Fuente: Los autores

FIGURA N° 4.4: PORCENTAJE EN PESO Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR PARA LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA



Fuente: los autores

TABLA N° 4.22: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL
PRIMER DISEÑO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C-39																								
PROYECTO :		TRABAJO DE GRADUACION "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"																						
SOLICITANTE :		MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS																						
UBICACIÓN :																								
TIPO DE MUESTRA:		CILINDROS																						
FECHA DE COLADO:		18 DE MAYO DE 2011																						
FECHA DE ENSAYO:																								
OBSERVACIONES:		PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA																						
CILINDRO No.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	TIEMPO VEBE (s)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA												
1	18/05/2011	25/05/2011	7	9	15,10	30,50	179,1	13325	2439,63	60120	335,72	5												
2	18/05/2011	25/05/2011	7	9	15,10	30,50	179,1	13323	2439,26	62290	347,84	5												
PROMEDIO											341,78													
3	18/05/2011	15/06/2011	28	9	15,10	30,50	179,1	13357	2445,49	77730	434,06	4												
4	18/05/2011	15/06/2011	28	9	15,10	30,50	179,1	13278	2431,02	76450	426,91	4												
PROMEDIO											430,48													
Tipo de Falla: <table style="width: 100%; text-align: center; margin-top: 10px;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 1</td> <td>TIPO 2</td> <td>TIPO 3</td> <td>TIPO 4</td> <td>TIPO 5</td> <td>TIPO 6</td> </tr> </table>																			TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6
TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6																			
FORMULAS: <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 70%;">Peso Volumétrico : $\text{Peso (Kg)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000 =$</td> <td style="text-align: right;">kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la Compresión : $\text{carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$</td> <td style="text-align: right;">kg/cm²</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1 Mpa= 9,81 kg/cm²</td> </tr> </table>													Peso Volumétrico : $\text{Peso (Kg)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000 =$	kg/m ³	Resistencia a la Compresión : $\text{carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$	kg/cm ²	1 Mpa= 9,81 kg/cm ²							
Peso Volumétrico : $\text{Peso (Kg)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000 =$	kg/m ³																							
Resistencia a la Compresión : $\text{carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$	kg/cm ²																							
1 Mpa= 9,81 kg/cm ²																								

Conclusión

Analizando las resistencias a la compresión obtenidas en el primer diseño, los resultados cumplen con los requerimientos de resistencia.

$$f'c = 430.48 \text{ kg/cm}^2 > F'cr = 354.2 \text{ kg/cm}^2.$$

Sin embargo; la mezcla posee un porcentaje de arena de 23%, cantidad que resulta insuficiente para rellenar los vacios, ya que los cilindros presentan oquedades, como se muestra en la figura N° 4.5. Además de poseer una cantidad elevada de cemento¹³ (8.3 bolsas por metro cúbico), por las altas resistencias obtenidas en el ensayo a la compresión realizadas a la edad de 7 días, esta cantidad de cemento puede ser reducida.

FIGURA N° 4.5: CILINDROS ELABORADOS DE LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA



Fuente: fotografías tomadas en el laboratorio del ISCYC por los autores.

¹³ Generalmente la cantidad de cemento para un metro cubico, oscila entre 4.5 a 7 bolsas.

4.4.3 SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA

Según el ACI 318, cuando no se dispone de registros aceptables de resultados de ensayos, se permite que la dosificación del concreto se establezca con mezclas de prueba, siempre y cuando se realicen al menos tres mezclas variando la relación a/c o contenidos de cemento diferentes que produzcan una gama de resistencia que abarque el f_{cr} .

En el primer diseño se obtuvieron resistencias altas de 341.78 kg/cm^2 a los 7 días, pero la mezcla no tenía la suficiente cantidad de agregado fino para el recubrimiento, de tal manera que se presentaron oquedades en los cilindros que se elaboraron. Se realizarán dos nuevos diseños variando la cantidad de agregados (aumentando los finos) y reduciendo la cantidad de cemento (ya que se requiere reducir la resistencia) para luego analizar la resistencia de las mezclas, así como también su funcionalidad al ser compactada.

Para el segundo diseño de la mezcla de prueba, se modificó la cantidad de cemento disminuyendo en un 6 % y la cantidad de agregado grueso en un 9 %¹⁴ con la finalidad de aumentar la cantidad de arena.

El proporcionamiento y resultados de estos diseños de prueba, se muestran en las Tablas N° 4.23 y Tabla N° 4.25.

¹⁴ Estos porcentajes se tomaron como referencia de la experiencia de técnicos en el ISCYC

TABLA N° 4.23: PROPORCIONAMIENTO PARA SEGUNDO DISEÑO DE PRUEBA



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE CCR		
MÉTODO ACI 211.3		
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"	
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS	
ESTRUCTURA :	SEGUNDO DISEÑO	
LABORATORISTA :	f'c = 280 kg/cm ²	
Fecha de Diseño:	f'cr = 354.2 kg/cm ²	
Fecha de Mezcla:	26/05/2011	Consistencia = Seca
		Tipo de Cemento: HE
		G. Específica : 2.94
DATOS DE AGREGADOS		
	Arena rio JIBOA	Grava 3/4"
(a) gravedad específica (G)	2.47	2.60
(b) Peso Volumétrico (kg/m ³)	--	1528
(c) Humedad (%)	9.36	1.29
(d) Absorción (%)	4.20	2.20
M.F.	2.40	--
TMN	---	3/4"
CÁLCULOS		
Relación A/C	0.51	
Agua	169	L/m ³
Cemento	331	kg/m ³
Volumen de agregado grueso	0.75	m ³
Peso de agregado grueso seco	1146	kg/m ³
Aire atrapado	1.50	%
Volumen sólido de cemento	113	L
Volumen de agua	169	L
Volumen de grava	441	L
Volumen de aire	15	L
Volumen total sin arena	737	L
Volumen sólido de arena	263	L
Peso de arena	648	kg
Corrección por humedad y absorción		
Humedad de arena	60.7	kg
Humedad de grava	14.8	kg
Agua libre de arena	5.16	%
Agua libre de grava	-0.91	%
Agua aportada por arena	33.5	L
Agua aportada por grava	-10.4	L
Agua aportada	23.0	L
<i>Cantidades requeridas para un metro cúbico de concreto</i>		
Calculadas		
Cemento	331	kg
Agua	169	L
Arena Seca	648	kg
Grava seca	1146	kg
Usadas en la Obra		
Cemento	331	kg/m ³
Agua	146.0	L
Arena húmeda	709.0	kg
Grava Húmeda	1161	kg
	2347	
PARA	0.028	m ³
Cemento	9.28	kg
Agua	4.09	l
Arena	19.85	kg
Grava	32.50	kg
OBSERVACIONES:		

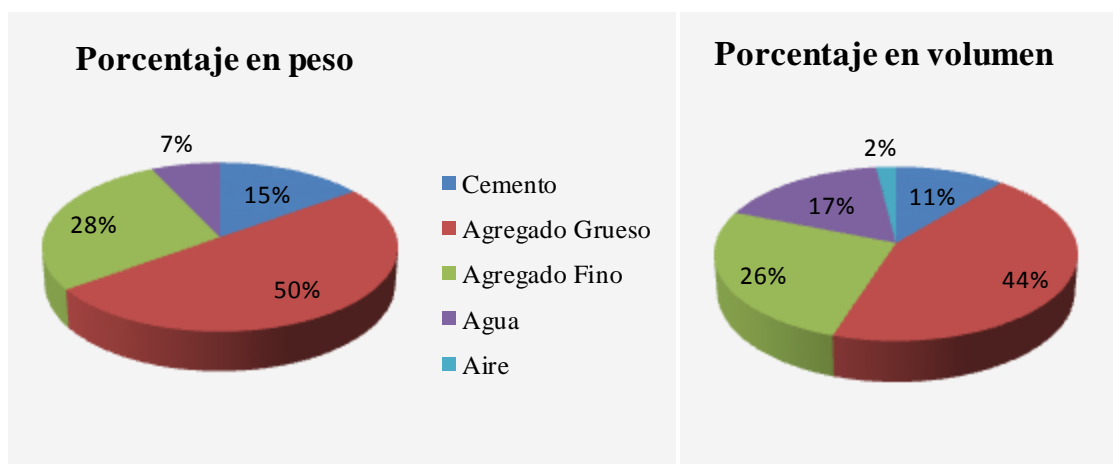
Las proporciones de los componentes utilizados para la segunda mezcla de prueba se muestran en la tabla N° 4.24, y en la figura N° 4.6 se detallan los porcentajes en peso y en volumen para un metro cubico de CCR.

TABLA N° 4.24: PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR, UTILIZADOS EN LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	331	0.113
Agregado Grueso Seco	1146	0.441
Agregado Fino Seco	648	0.262
Agua	169	0.169
Aire	-	0.015
Total	2294	1.00

Fuente: Los autores

FIGURA N° 4.6: PORCENTAJE DE PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR UTILIZADOS EN LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA.



Fuente: Los autores

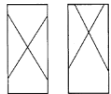
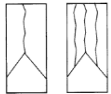


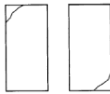

**TABLA N° 4.25: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL
SEGUNDO DISEÑO**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C-39												
PROYECTO :		TRABAJO DE GRADUACION "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"										
SOLICITANTE :		MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS										
UBICACIÓN :												
TIPO DE MUESTRA:		CILINDROS										
FECHA DE COLADO:		26 DE MAYO DE 2011										
FECHA DE ENSAYO:												
OBSERVACIONES:		SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA										
CILINDRO No.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	TIEMPO VEBE (s)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
5	26/05/2011	02/06/2011	7	9	15,10	30,50	179,1	13325	2439,63	55420	309,47	6
6	26/05/2011	02/06/2011	7	9	15,10	30,50	179,1	13323	2439,26	56290	314,33	6
PROMEDIO											311,90	
7	26/05/2011	23/06/2011	28	9	15,10	30,50	179,1	13357	2445,49	70730	394,97	4
8	26/05/2011	23/06/2011	28	9	15,10	30,50	179,1	13278	2431,02	70450	393,40	4
PROMEDIO											394,18	
<p>Tipo de Falla:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  TIPO 1 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 2 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 3 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 4 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 5 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 6 </div> </div>												
<p>FORMULAS:</p> <p>Peso Volumétrico : $\text{Peso (Kg)} / \text{Alt (cm)} * \text{Area (cm}^2) * 1000 =$ kg/m³</p> <p>Resistencia a la Compresión : $\text{carga (kg)} / \text{Area (cm}^2) =$ kg/cm²</p> <p>1 Mpa= 9,81 kg/cm²</p>												

Conclusión

Los resultados de resistencia a la compresión de la segunda mezcla de prueba a la edad de 7 días muestran resultados altos $f'c = 311.90 \text{ kg/cm}^2$, lo que refleja un diseño no muy económico por la cantidad alta de cemento (7.8 bolsas por metro cubico). Mientras que hay una mejor relación entre agregado grueso y fino (50 % de agregado grueso y 28 % agregado fino), llenándose la mayor cantidad de vacíos.

4.4.4 TERCERA MEZCLA DE PRUEBA

Para el tercer diseño de prueba se mantuvo el porcentaje de agregado grueso 50 %, por presentar con este porcentaje una buena consolidación y distribución de pasta. La cantidad de cemento será disminuida en un 5 % para acercarnos a la resistencia promedio requerida $f'cr = 354.2 \text{ kg/cm}^2$ y la cantidad de agregado fino se ve incrementada en un 2.4 % debido a la disminución de la cantidad de cemento.

Las Tablas N° 4.26 muestran las cantidades de los materiales a utilizar en el tercer diseño, corregidas por humedad y absorción.

Al realizar la mezcla de laboratorio con el tercer diseño de prueba; en la etapa de verificación de la consistencia, se realizaron diferentes ensayos, a prueba y error para determinar la cantidad de agua óptima para lograr una consistencia seca con el equipo Vebe.

La primera prueba se hizo con el 50 % del agua de diseño, resultando en una consistencia extremadamente seca (mayor a 10 segundos).

Las siguientes pruebas se realizaron adicionando cantidades de 0.2 l, hasta obtener una consistencia seca (en el rango de 5 a 10 segundos).

La consistencia deseada fue obtenida con una cantidad de agua de mezclado de 3.29 l (cantidad menor al agua de diseño), disminuyendo el agua de diseño en un 15 % y obteniéndose una relación $a/c = 0.48$

La Tabla N° 4.28, muestra los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a la edad de ensayo de 7 y 28 días a realizadas al especímenes moldeados con las cantidades calculadas del tercer diseño. La resistencia a la compresión a la edad de 7 días fue de 296.66 kg/cm^2 , valor de esfuerzo a la compresión que resulta aceptable tomando en cuenta el comportamiento de la mezcla en estado fresco, por lo cual, esta mezcla será tomada como definitiva para la elaboración de los especímenes utilizando las dos metodologías descritas en el capítulo III.

Comparando los resultados de resistencia a la compresión obtenida de los tres diseños, los valores para el tercero muestran resistencia más cercanas a la esperada, tal como se visualiza en la Tabla N° 4.29.

TABLA N° 4.26: PROPORCIONAMIENTO PARA TERCER DISEÑO DE PRUEBA



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE CCR MÉTODO ACI 211.3		
PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"	
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS	
ESTRUCTURA :	TERCER DISEÑO	
LABORATORISTA :	f'c = 280 kg/cm ²	
Fecha de Diseño:	f'cr = 354.2 kg/cm ²	
Fecha de Mezcla:	28/06/2011	Consistencia = Seca
		Tipo de Cemento: HE
		G. Específica : 2.94
DATOS DE AGREGADOS		
	Arena rio JIBOA	Grava 3/4"
(a) gravedad específica (G)	2.47	2.60
(b) Peso Volumétrico (kg/m ³)	--	1528
(c) Humedad (%)	9.73	1.54
(d) Absorción (%)	4.20	2.20
M.F.	2.40	--
TMN	---	3/4"
CÁLCULOS		
Relación A/C	0.54	
Agua	169	L/m ³
Cemento	313	kg/m ³
Volumen de agregado grueso	0.75	m ³
Peso de agregado grueso seco	1146	kg/m ³
Aire atrapado	1.50	%
Volumen sólido de cemento	106	L
Volumen de agua	169	L
Volumen de grava	441	L
Volumen de aire	15	L
Volumen total sin arena	731	L
Volumen sólido de arena	269	L
Peso de arena	664	kg
Corrección por humedad y absorción		
Humedad de arena	64.6	kg
Humedad de grava	17.6	kg
Agua libre de arena	5.53	%
Agua libre de grava	-0.66	%
Agua aportada por arena	36.7	L
Agua aportada por grava	-7.6	L
Agua aportada	29.1	L
<i>Cantidades requeridas para un metro cúbico de concreto</i>		
Calculadas		
Cemento	313	kg
Agua	169	L
Arena Seca	664	kg
Grava seca	1146	kg
Usadas en la Obra		
Cemento	313	kg/m ³
Agua	139.9	L
Arena húmeda	728.0	kg
Grava Húmeda	1164	kg
	2344	
PARA	0.028	m ³
Cemento	8.76	kg
Agua	3.92	l
Arena	20.4	kg
Grava	32.58	kg
OBSERVACIONES:		

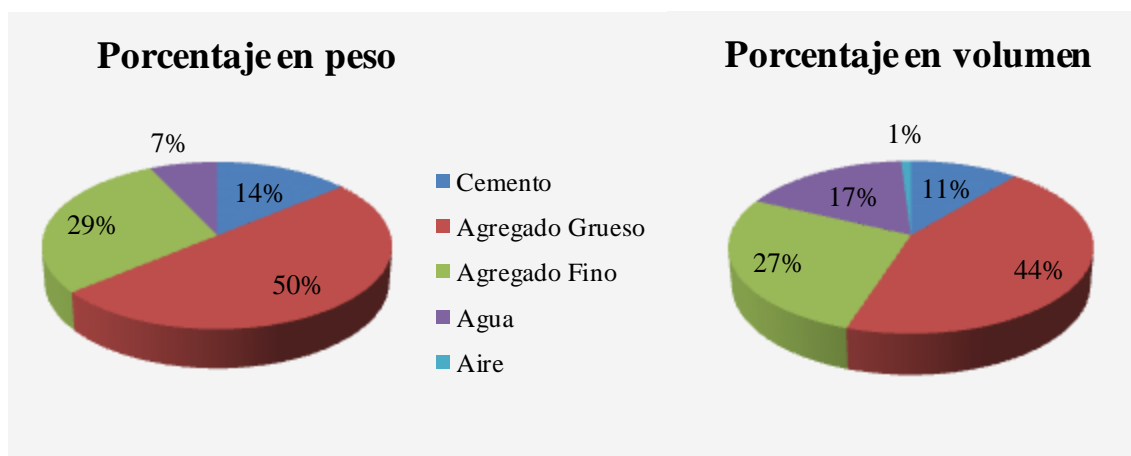
Las proporciones de los componentes utilizados para la tercera mezcla de prueba se muestran en la tabla N° 4.27, y en la figura N° 4.7 se detallan los porcentajes en peso y en volumen para un metro cúbico de CCR.

TABLA N° 4.27: PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR, UTILIZADOS EN LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	313	0.106
Agregado Grueso Seco	1146	0.441
Agregado Fino Seco	664	0.269
Agua	169	0.169
Aire	-	0.015
Total	2292	1.00

Fuente: Los autores

FIGURA N° 4.7: PORCENTAJE DE PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA UN METRO CÚBICO DE CCR UTILIZADOS EN TERCERA MEZCLA DE PRUEBA



Fuente: los autores

**TABLA N° 4.28: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL
TERCER DISEÑO**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C-39																								
PROYECTO :		TRABAJO DE GRADUACION "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"																						
SOLICITANTE :		MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS																						
UBICACIÓN :		_____																						
TIPO DE MUESTRA:		CILINDROS																						
FECHA DE COLADO:		28 DE JUNIO DE 2011																						
FECHA DE ENSAYO:		_____																						
OBSERVACIONES:		TERCERA MEZCLA DE PRUEBA																						
_____		_____																						
CILINDRO No.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	TIEMPO VEBE (s)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PES-VOL (kg/m ³)	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA												
9	28/06/2011	05/07/2011	7	10	15,10	30,50	179,1	13325	2439,63	53220	297,19	6												
10	28/06/2011	05/07/2011	7	10	15,10	30,50	179,1	13323	2439,26	53030	296,13	6												
										PROMEDIO	296,66													
11	28/06/2011	08/08/2011	28	10	15,10	30,50	179,1	13357	2445,49	71950	401,78	4												
12	28/06/2011	08/08/2011	28	10	15,10	30,50	179,1	13278	2431,02	76090	424,90	4												
										PROMEDIO	413,34													
Tipo de Falla: <table style="width: 100%; text-align: center; margin-top: 10px;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO 1</td> <td>TIPO 2</td> <td>TIPO 3</td> <td>TIPO 4</td> <td>TIPO 5</td> <td>TIPO 6</td> </tr> </table>																			TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6
TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6																			
FORMULAS: <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 70%;">Peso Volumétrico : Peso (Kg) / Alt (cm) * Area (cm²) * 1000 =</td> <td style="text-align: right;">kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la Compresión : carga (kg) / Area (cm²) =</td> <td style="text-align: right;">kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>1 Mpa= 9,81 kg/cm²</td> <td></td> </tr> </table>													Peso Volumétrico : Peso (Kg) / Alt (cm) * Area (cm ²) * 1000 =	kg/m ³	Resistencia a la Compresión : carga (kg) / Area (cm ²) =	kg/cm ²	1 Mpa= 9,81 kg/cm ²							
Peso Volumétrico : Peso (Kg) / Alt (cm) * Area (cm ²) * 1000 =	kg/m ³																							
Resistencia a la Compresión : carga (kg) / Area (cm ²) =	kg/cm ²																							
1 Mpa= 9,81 kg/cm ²																								

TABLA N° 4.29: RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 7 Y 28 DÍAS DE LA MEZCLA DE PRUEBA

Mezcla	Resistencia a la compresión	
	Primer Proporcionamiento	7 días	$F^{\prime}c = 341.78 \text{ kg/cm}^2$
28 días		$F^{\prime}c = 430.48 \text{ kg/cm}^2$
Segundo Proporcionamiento	7 días	$F^{\prime}c = 311.90 \text{ kg/cm}^2$
	28 días	$F^{\prime}c = 394.18 \text{ kg/cm}^2$
Tercer Proporcionamiento	7 días	$F^{\prime}c = 296.66 \text{ kg/cm}^2$
	28 días	$F^{\prime}c = 413.34 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Los autores

4.4.5 AJUSTES DE LA MEZCLA DEFINITIVA

Como la cantidad de agua agregada a la mezcla fue menor que la calculada en el diseño, es necesario realizar los ajustes de la mezcla para determinar las cantidades reales de los materiales utilizados.

Las cantidades obtenidas del proporcionamiento para un metro cúbico son las que reflejan la Tabla N° 4.30 y los parámetros de entrada de los agregados se muestran en la tabla N° 4.31

TABLA N° 4.30: PROPORCIONAMIENTO TEÓRICO PARA UN METRO CÚBICO

Materiales	Cantidades	Unidades
Cemento	313	kg
Agua	169	l
Arena Seca	664	kg
Grava seca	1146	kg

Fuente: Los autores

TABLA N° 4.31: DATOS DE LOS AGREGADOS

Resultados de ensayos de los agregados		
	Arena	Grava
Gravedad Específica Seca	2.47	2.60
P. V. V (kg/m ³)	--	1528
Humedad (%)	9.73	1.54
Absorción (%)	4.20	2.20
M.F.	2.40	--
TMN	---	3/4"

Fuente: Los autores

CORRECCIONES POR HUMEDADES DE LOS AGREGADOS

La cantidad de agua aportada por los materiales es calculada según la ecuación (4.9)

$$\text{Cantidad de agua} = \text{peso del material} \times \frac{\% \text{ humedad} - \% \text{ absorción}}{100}$$

Ecuación (4.9)

Arena:

$$\text{Cantidad de agua} = 664 \times \frac{9.73 - 4.20}{100} = 36.72 \text{ l}$$

Grava:

$$\text{Cantidad de agua} = 1146 \times \frac{1.54 - 2.20}{100} = -7.56 \text{ l}$$

$$\text{Agua total} = 169 - 36.72 + 7.56 = 139.84 \text{ l}$$

Las cantidades de agregados corregidos por humedad son calculados con la ecuación (4.10).

Ecuación (4.10):

$$\text{Peso del agregado húmedo} = \text{peso del agregado seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{humedad}}{100} \right)$$

Arena:

$$\text{Peso de arena húmeda} = 664 \times \left(1 + \frac{9.73}{100} \right) = 729 \text{ kg}$$

Grava:

$$\text{Peso de grava húmeda} = 1146 \times \left(1 + \frac{1.54}{100} \right) = 1164 \text{ Kg}$$

Cantidades para una Bachada

Las cantidades se deben calcular para una bachada, según la ecuación (4.11):

Ecuación (4.11):

$$\begin{aligned} \text{Peso del material} &= (\text{peso del material para un m}^3) \\ &\times (\text{volumen para una mezcla de laboratorio}) \end{aligned}$$

$$\text{Arena} = 729 \text{ kg} \times 0.028 = 20.41 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = 1164 \text{ kg} \times 0.028 = 32.59 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 139.84 \text{ kg} \times 0.028 = 3.92 \text{ l}$$

$$\text{Agua real usada en la mezcla} = 3.29 \text{ l (84 \% del agua de dise\~{n}o)}$$

El peso te3rico de la mezcla es determinado sumando todos los materiales, en la tabla N° 4.32 se muestran estos resultados.

TABLA N° 4.32: CANTIDADES PARA UNA MEZCLA DE LABORATORIO EN CONDICIÓN HUMEDA

Materiales	Peso (kg)
Cemento	8.75
Agua	3.29
Arena	20.41
Grava	32.59
Total	65.04

Fuente: Los autores

El agua total utilizada (con los agregados húmedos) para generar una consistencia seca fue de 3.29 l (16 % menos del agua calculada).

Para la bachada deberán calcularse las cantidades aportadas por los agregados:

$$\text{Cantidad de agua aportada por grava} = 32.59 \times \frac{1.54 - 2.20}{100} = -0.22 \text{ l}$$

$$\text{Cantidad de agua aportada por arena} = 20.41 \times \frac{9.73 - 4.20}{100} = 1.13 \text{ l}$$

$$\text{Agua Total} = 3.29 + 1.13 - 0.22 = 4.20 \text{ l}$$

La relación a/c es:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{Cantidad de agua real}}{\text{Cantidad de cemento}} = \frac{4.20}{8.76} = 0.48$$

El peso del concreto en estado fresco para los cilindros elaborados con la tercera mezcla de prueba se muestra en la tabla N° 4.33.

TABLA N° 4.33: PESOS DE CILINDROS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO

N° Cilindros	Pesos volumétricos del concreto fresco (kg/m ³)
1	2200
2	2260
3	2250
4	2240
Promedio	2237

Fuente: Los autores

El rendimiento se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso Total de los materiales}}{\text{Peso Volumétrico del concreto fresco}} = \frac{65.04 \text{ kg}}{2237 \text{ kg/m}^3} = 0.029 \text{ m}^3$$

De esta manera se pueden conocer las cantidades en kilogramos para un metro cúbico, conociendo que el agua de mezcla real utilizada suponiendo agregados secos es de 4.21 litros, la cantidad de agua de mezcla para un metro cúbico se calcula dividiendo esta, entre el rendimiento (0.029), de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad de agua de mezcla por m}^3 = \frac{4.20}{0.029} = 144.8 \text{ kg/m}^3$$

La cantidad de cemento utilizada para un metro cúbico se determina conociendo previamente la relación agua-cemento que en este caso es de $a/c = 0.48$

$$\text{cemento} = \frac{a}{a/c} = \frac{144.83}{0.48} = 301.7 \text{ kg}$$

El numero de bolsas de cemento para un metro cúbico se determina de la siguiente manera, tomando en cuenta que una bolsa de cemento contiene 42.5 kg.

$$\text{Bolsas por metro cubico} = \frac{301.72}{42.50} = 7.1 \text{ bolsas/m}^3$$

El agregado grueso se calcula con la división entre la cantidad de agregado para una mezcla de laboratorio y el rendimiento:

$$\text{Grava condicion húmeda} = \frac{32.59}{0.029} = 1123.8 \text{ kg}$$

Utilizando la ecuación (4.10)

$$\text{Grava condicion seca} = \frac{1123.8}{1 + \frac{1.54}{100}} = 1106.8 \text{ kg}$$

$$\text{Grava condicion sss} = 1106.76 \cdot 1 + \frac{2.20}{100} = 1131.11 \text{ kg}$$

De la tabla N° 4.33 conocemos el peso del concreto en estado fresco, restando de este, las cantidades de materiales obtenidas, se obtiene la cantidad de arena para un metro cúbico en condición saturada superficialmente seca:

$$\text{Arena} = 2237 - 1131.11 - 144.83 - 301.72 = 659.34 \text{ kg}$$

$$\text{Arena seca} = \frac{659.34}{1 + \frac{4.26}{100}} = 632.8 \text{ kg}$$

Luego de determinar la proporción de los componentes de la mezcla para un volumen de 1 m³ de concreto, se obtienen las cantidades finales calculadas en kilogramos, mostradas en la tabla N° 4.34

TABLA N° 4.34: RESUMEN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CCR.

Materiales	Para 1 m³ de concreto en condición seco en (kg)
Cemento	301.7
Agua	144.8
Arena	632.8
Grava	1106.8

Fuente: Los autores

El diseño de la mezcla presentada en la tabla N° 4.34 es igual en las 12 mezclas de concreto compactado con rodillo necesarias en esta investigación y fueron calculadas en base a una hoja electrónica de cálculo, los resultados se presentan en el Anexo D.

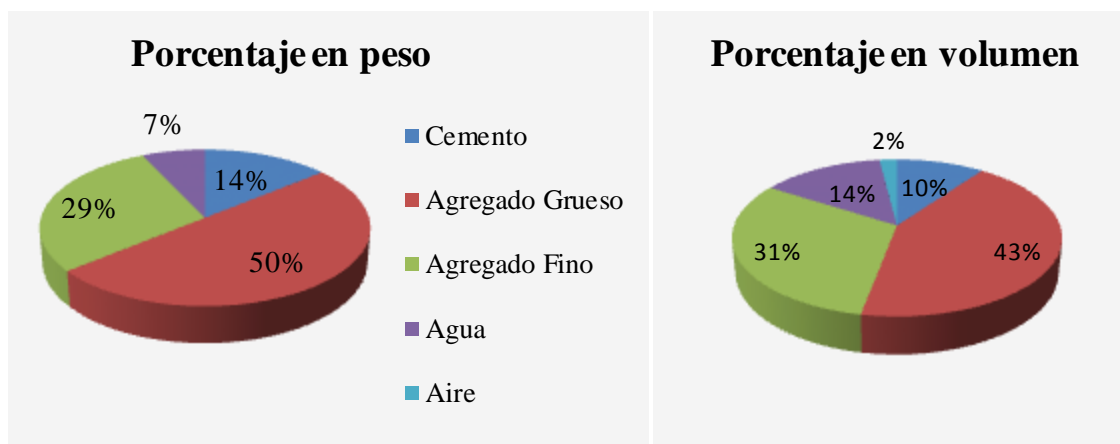
Las proporciones de los componentes para la mezcla definitiva a reproducir en laboratorio se muestran en la tabla N° 4.35, y en la figura N° 4.8 se detallan los porcentajes en peso y en volumen para un metro cúbico de CCR.

TABLA N° 4.35: PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES PARA LA MEZCLA DEFINITIVA PARA UN METRO CÚBICO DE CCR

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	301.7	0.103
Agregado Grueso Seco	1106.8	0.426
Agregado Fino Seco	632.8	0.311
Agua	144.8	0.145
Aire	-	0.015
Total	2186.1	1.00

Fuente: Los autores

FIGURA N° 4.8: PORCENTAJE DE PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA OPTIMA A REPRODUCIR EN LABORATORIO PARA UN METRO CÚBICO DE CCR.



Fuente: Los autores

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En el análisis de resultados, la interpretación de los datos es la parte fundamental que servirá para plantear las conclusiones y conocer si los objetivos de la investigación han sido alcanzados. En este capítulo se realiza el análisis de los datos obtenidos de las diferentes pruebas y ensayos al CCR explicadas en el Capítulo III.

En las pruebas al CCR, primero analizaremos los agregados si estos cumplen con las especificaciones y son aptos para realizar mezcla de CCR, luego en estado fresco, se realiza el análisis de las diferentes propiedades del concreto como la consistencia, la temperatura de la mezcla y el tiempo de fraguado, valores que son muy importantes en el CCR en este estado y que influyen en las propiedades del concreto en estado endurecido.

El análisis estadístico de la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados utilizando cada método, se ha realizado a las edades de ensayo de 7, 28 y 56 días, para conocer las cartas de calidad del CCR y establecer la misma. Además, de verificar la variabilidad de los datos antes de ser utilizados como base para las comparaciones. Se realizan de igual manera las correlaciones establecidas en la sección 3.3.8 de este documento, mostradas para cada relación a/c, de esta manera observar el comportamiento del CCR en cuanto a resistencia, consistencia, módulo de elasticidad estático, dinámico y relación de Poisson, correlacionándolas entre ellas y mostrando los resultados obtenidos en diferentes tablas y gráficos.

5.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CCR.

5.2.1 AGREGADO GRUESO Y FINO

La calidad de los agregados ha sido analizada y comparada con los requerimientos de la Norma ASTM C 33, en base a los resultados proporcionados por cada ensayo hechos en laboratorio; para la realización de estos la metodología fue descrita en el capítulo III de este documento.

Para el análisis por tamizado, los porcentajes pasantes de cada malla permanecen dentro de los límites superiores e inferiores sugeridos por la norma ASTM C 33, por lo que se considera que estos materiales poseen un balance proporcional con respecto al tamaño de las partículas. (Ver Figura 4.1 y 4.2 contenidas en el capítulo IV de este documento).

El agregado grueso posee un tamaño máximo nominal de 3/4", clasificándolo como Grava # 67 (según tabla N° 3.1), este tamaño es adecuado para el método de diseño de mezclas que se utilizó, según el ACI 211.3, que indica que para mezclas diseñadas con el consistómetro Vebe el tamaño máximo nominal a ser utilizado es de 1 ½ pulg.

Para el caso de la arena, el módulo de finura es de 2.40 (véase Tabla N° 4.3, capítulo IV), los requerimientos de la ASTM C 33 propone un rango de valores en el cual se debe

encontrar el módulo de finura (2.3 a 3.1), partiendo de este argumento se observa que el valor obtenido en el ensayo se encuentra dentro del rango y puede ser usado para el proporcionamiento de mezcla de CCR.

La gravedad específica de la grava y la arena, basada en agregado seco es 2.60 y 2.47 respectivamente (véase Tabla N° 4.6 y 4.4). La gravedad específica de la mayoría de agregados de origen natural oscila entre 2.4 y 2.9; los valores promedios obtenidos en el ensayo de laboratorio para el tipo de agregado grueso y fino, corresponden al parámetro mencionado lo que garantiza obtener una mezcla de CCR con las características deseadas.

Existen parámetros de control que se encuentran descritos en la sección 3.3.1.1, que especifican que el porcentaje de absorción no debe exceder del 4 % para el agregado grueso y 6 % para agregado fino; partiendo de este argumento se observa que el agregado grueso utilizado en este trabajo de investigación posee un porcentaje de absorción de 2.20 % y 4.20 % de absorción para la arena; es decir que el porcentaje de absorción oscila dentro de los parámetros y garantiza un buen desempeño mecánico en la mezcla.

El peso volumétrico suelto del agregado grueso para mezclas de CCR en pavimentos, generalmente se encuentra en los rangos de $1,260 \text{ kg/m}^3$ a $1,750 \text{ kg/m}^3$; en el ensayo de laboratorio se determinó para la grava, un peso volumétrico suelto de $1,406 \text{ kg/m}^3$, el

cual se encuentra dentro del rango y un peso volumétrico varillado de $1,528 \text{ kg/m}^3$; por lo que se puede utilizar este material en mezclas de CCR.

La humedad de los agregados fue un valor a considerar únicamente como parámetro inicial a la realización de la mezcla, debido a que el material se encontraba almacenado a la intemperie, se calculó el valor antes de cada bachada con el fin de realizar las correcciones por humedad y absorción; de acuerdo a la sección 3.3.2.5 de este documento.

5.2.2 CEMENTO

Para esta investigación el cemento utilizado es de tipo HE (Altas resistencias a edades tempranas) bajo norma ASTM C 1157, el requisito de elección de este cemento fue por ser comúnmente utilizado para la construcción de pavimentos en el país, la calidad del mismo, fue establecida por el proveedor, por lo que el parámetro a evaluar es únicamente su gravedad específica en el cual se obtuvo un valor de 2.94 (ver Tabla N° 4.8) y que fue utilizado para el diseño de proporcionamiento de la mezcla de CCR.

En el anexo A, se presentan las cartas de calidad, proporcionadas por el proveedor que garantizan las propiedades de este.

5.2.3 AGUA

El agua como componente del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes.

El agua utilizada para esta investigación fue potable¹⁵, clasificada como satisfactoria para agua de mezclado, según el criterio de calidad que se especifica a través de las normas ASTM C 94 y ASTM C 1602.

5.3 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El comportamiento de la mezcla de CCR fue determinado a través de ensayos del concreto en estado fresco; las propiedades que se estudiaron son: consistencia (ASTM C 1170) y temperatura (ASTM C 1064) que se determinaron a cada una de las bachadas; mientras que el ensayo de tiempos de fraguado (ASTM C 403) se realizó una sola vez, pues el diseño es el mismo en toda la investigación.

Todas estas propiedades sirven como parámetro para determinar las características del comportamiento de la mezcla.

¹⁵ En investigaciones realizadas por el ISCYC, la utilización de agua potable para elaborar concreto a presentado buenos resultados.

5.3.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSISTENCIA

Los resultados obtenidos al medir la consistencia, se presentan en la tabla N° 5.1 y fueron los esperados, ya que los valores de todas las mezclas se encuentran dentro del rango de 5 a 10 segundos medidos con el equipo Vebe que se especifica en la sección 3.3.3 de este documento, para una mezcla de consistencia seca, los valores obtenidos fueron de 8, 9 y 10 segundos, mediante estos resultados se ha determinado que cada mezcla posee una consistencia adecuada; a través de la realización de esta prueba se ha comprobado que entre más alta sea la relación agua-cemento se forma más rápido el anillo de pasta alrededor de la pesa del equipo, dando como resultado un tiempo Vebe menor, en las mezclas con relación agua-cemento de 0.47 se tienen tiempos Vebe en el rango de 8 a 9 segundos, mientras que para una relación agua-cemento de 0.48 se tienen tiempos Vebe entre 9 a 10 segundos.

A través de la observación del concreto en estado fresco, se demuestra que el tiempo de mezclado influye en la homogenización de la mezcla, para este tipo de mezclas se debe evitar la segregación a través de un control estricto en el tiempo de mezclado y el manejo del concreto. El tiempo de mezclado debe de ser el mismo que para concretos convencionales (según ACI 304).

El tiempo de ejecución del ensayo de consistencia influye directamente en la pérdida de la humedad de concreto (el tiempo de duración del ensayo no debe ser mayor a 45 minutos desde el momento que se agrega el agua a la mezcla, según ASTM C 1170).

Uno de los objetivos de esta investigación era obtener una consistencia seca (Tiempo Vebe de 5 a 10 s); probando para diferentes cantidades de agua en la mezcla el tiempo de consistencia, con el fin de mantener el rango de tiempo especificado y obteniéndose relaciones agua-cemento de 0.46, 0.47 y 0.48.

Se determino la trabajabilidad de la mezcla a través del ensayo de Revenimiento (ASTM C 143) y se comprobó que este tipo de mezclas por ser de consistencia seca no presentan desplome como se observa en la Figura N° 5.1. Para consistencia seca, el comité ACI 211.3 establece una trabajabilidad medida con el cono de Abrams en un rango de 0 a 1 pulgada (0 a 2.54 cm). El resultado promedio de todos los ensayos en este trabajo de graduación es un revenimiento cero.

FIGURA N° 5.1: REVENIMIENTO CERO EN LA MEZCLA DE CCR



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

TABLA N° 5.1: RESULTADOS DE ENSAYO DE CONSISTENCIA

Resultado del ensayo de Consistencia				
Fecha de ensayo	N ° Bachada	Resistencia en estudio	a/c	Tiempo vebe (s)
01 de Agosto de 2011	1	280	0.48	9
	2	280	0.48	9
	3	280	0.48	9
	4	280	0.48	9
	5	280	0.47	8
08 de Agosto de 2011	6	280	0.47	8
	7	280	0.48	9
	8	280	0.48	9
	9	280	0.48	9
09 de Agosto de 2011	10	280	0.48	9
	11	280	0.47	8
10 de Agosto de 2011	12	280	0.47	8
	13	280	0.48	9
11 de Agosto de 2011	14	280	0.48	8
	15	280	0.48	9
	16	280	0.48	9
16 de Agosto de 2011	17	280	0.48	10
	18	280	0.48	9
	19	280	0.48	9
	20	280	0.48	9
	21	280	0.48	9
18 de Agosto de 2011	22	280	0.47	8
	23	280	0.47	8
	24	280	0.47	9
	25	280	0.47	9
29 de Agosto de 2011	26	280	0.48	10
	27	280	0.48	10
	28	280	0.48	9
	29	280	0.48	9
	30	280	0.48	9
	31	280	0.47	9
	32	280	0.47	8
30 de Agosto de 2011	33	280	0.46	9
	34	280	0.46	8
	35	280	0.46	9
	36	280	0.48	9
31 de Agosto de 2011	37	280	0.48	10
	38	280	0.48	9
	39	280	0.48	9
1 de Septiembre de 2011	40	280	0.48	10
	41	280	0.48	10
	42	280	0.48	10
	43	280	0.47	9
	44	280	0.47	8
7 de Septiembre de 2011	45	280	0.47	8
	46	280	0.48	10
Promedio	47	280	0.48	10
	48	280	0.48	9
	49	280	0.47	8
	50	280	0.47	9

Fuente: Los autores

5.3.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE TEMPERATURA

Se consideró importante el parámetro de la temperatura para el estudio del control de calidad del CCR, debido a su importante influencia sobre las propiedades en estado fresco. No hay un parámetro establecido para la temperatura del CCR; sin embargo, las especificaciones de la Norma ASTM C 94 para concreto convencional recomiendan que cuando se coloque el concreto, este tenga una temperatura no mayor a 32 °C.

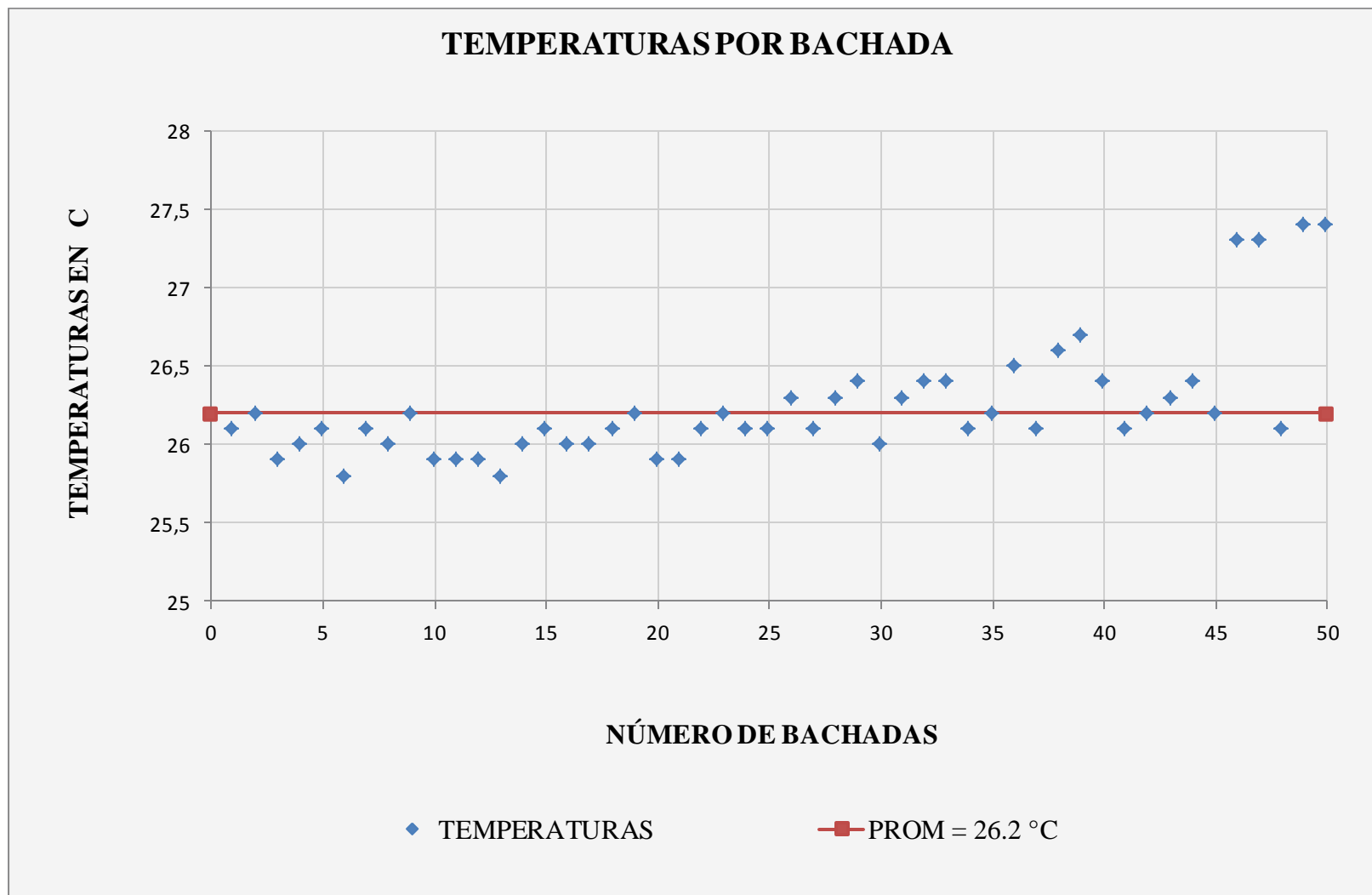
En cuanto a la reproducción del concreto, las temperaturas se conservaron en general constantes como se muestran en la figura N° 5.2 y están por debajo de la temperatura máxima recomendada; esta se mantuvo en rangos desde 25.9 °C hasta una temperatura máxima registrada de 27.4 °C, dando como resultado un promedio de 26.2 °C (Ver Tabla N° 5.2), considerando que la mezcla se llevó a cabo en las horas diurnas (8:00 a.m. – 5:00 p.m.) puede señalarse que la mezcla no presentó grandes variaciones por el ambiente.

TABLA N° 5.2: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA

Resultados del ensayo de Temperatura				
Fecha de ensayo	N ° Bachada	Resistencia en estudio	a/c	Temperatura (°C)
01 de Agosto de 2011	1	280	0.48	26.1
	2	280	0.48	26.2
	3	280	0.48	25.9
	4	280	0.48	26.0
	5	280	0.47	26.1
08 de Agosto de 2011	6	280	0.47	25.8
	7	280	0.48	26.1
	8	280	0.48	26.0
	9	280	0.48	26.2
09 de Agosto de 2011	10	280	0.48	25.9
	11	280	0.47	25.9
10 de Agosto de 2011	12	280	0.47	25.9
	13	280	0.48	25.8
	14	280	0.48	26.0
11 de Agosto de 2011	15	280	0.48	26.1
	16	280	0.48	26.0
	17	280	0.48	26.0
	18	280	0.48	26.1
16 de Agosto de 2011	19	280	0.48	26.2
	20	280	0.48	25.9
	21	280	0.48	25.9
	22	280	0.47	26.1
18 de Agosto de 2011	23	280	0.47	26.2
	24	280	0.47	26.1
	25	280	0.47	26.1
	26	280	0.48	26.3
	27	280	0.48	26.1
	28	280	0.48	26.3
	29	280	0.48	26.4
29 de Agosto de 2011	30	280	0.48	26.0
	31	280	0.47	26.3
	32	280	0.47	26.4
	33	280	0.46	26.4
30 de Agosto de 2011	34	280	0.46	26.1
	35	280	0.46	26.2
	36	280	0.48	26.5
	37	280	0.48	26.1
31 de Agosto de 2011	38	280	0.48	26.6
	39	280	0.48	26.7
	40	280	0.48	26.4
1 de Septiembre de 2011	41	280	0.48	26.1
	42	280	0.48	26.2
	43	280	0.47	26.3
	44	280	0.47	26.4
	45	280	0.47	26.2
7 de Septiembre de 2011	46	280	0.48	27.3
	47	280	0.48	27.3
7 de Septiembre de 2011	48	280	0.48	26.1
	49	280	0.47	27.4
	50	280	0.47	27.4
Promedio				26.2

Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.2: TEMPERATURAS POR BACHADA



Fuente: los autores

5.3.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO

El estudio de las propiedades del CCR como material, ha sido resuelto en general utilizando los procedimientos diseñados para concretos convencionales, como se detalla en el capítulo 3 de este documento; sin embargo, los tiempos de fraguado ha sido una propiedad cuya medición ha traído algunas dificultades.

El método tradicional para la determinación de los tiempos de fraguado es la resistencia a la penetración, pero para CCR, otorga resultados muy limitados. El método de resistencia a la penetración exige tamizar el material por la malla N° 4 (4.76 mm) y desarrollar la prueba sobre el mortero resultante. Este procedimiento elimina la fracción de material que está por encima de este tamaño, que para el caso del CCR resulta especialmente significativa.

Los resultados alcanzados a partir de este procedimiento (ASTM C 403) no reflejan en realidad la hidratación de campo porque presenta poca cantidad de material cementante presente y también a que las medidas deben hacerse siempre a una temperatura constante que no refleja la variación horaria de temperatura ambiente a la que está sometida verdaderamente el material en campo.

Este ensayo fue realizado, con el objetivo de medir el fraguado inicial y final, lapso en el cual inicia la rigidización de este. Este método puede ser utilizado para determinar el cumplimiento con requerimientos especificados del tiempo de fraguado.

El resumen de resultados se encuentra en la tabla N° 5.3.

TABLA N° 5.3: RESUMEN DE LA PRUEBA TIEMPOS DE FRAGUADO

Resultados de tiempos de fraguado al CCR							
Mezcla	Resistencia en estudio (kg/cm ²)	A/C	Resistencia a la penetración (PSI)	Tiempo de fraguado inicial		Tiempo de fraguado final	
				Minutos	Horas	Minutos	Horas
1	280	0.48	500	183	3.05		
			4000			363	6.05

Fuente: los autores

En esta mezclas se realizó una prueba, con lo cual se obtuvo la curva Tiempo–Esfuerzo (Ver figura N° 5.3) en la que se determinó el fraguado inicial y final. Es necesario señalar que este ensayo se realizó bajo una temperatura controlada de 25 °C, según lo que establece el procedimiento de ensayo.¹⁶

¹⁶ Según ASTM C 403, la temperatura del ensayo es en un rango de 20°C a 25°C.

TABLA N° 5.4: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



**ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 POR RESISTENCIA A LA PENETRACION
 ASTM C-403**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

Tipo de Cemento: HE (ASTM C-1157) Reporte N° 1
 a/c: 0.48 Hoja N° 1
 Ensayo N° 1 Fecha: 20/09/2011
 Muestra N° 1
 Mezcla: CCR
 Hora de Inicio de ensayo: 9:36 a.m

Lectura	Area de Aguja (in ²)	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	Carga (lb)	Esfuerzo	
					psi	kg/cm ²
0	0	9:36	0	0	0	0
1	0.50	11:29	113	98	196	13.8
2	0.50	12:00	144	154	308	21.7
3	0.50	12:15	159	156	312	21.9
4	0.25	12:35	179	108	432	30.4
5	0.25	12:50	194	110	440	30.9
6	0.10	1:05	209	52	520	36.6
7	0.10	1:30	234	54	540	38.0
8	0.10	2:00	264	108	1080	75.9
9	0.050	2:30	294	98	1960	137.8
10	0.050	3:00	324	182	3640	256.0
11	0.025	3:05	329	92	3680	258.8
12	0.025	3:10	334	112	4080	286.9
13	0.025	3:20	344	132	5280	371.3

RESULTADOS

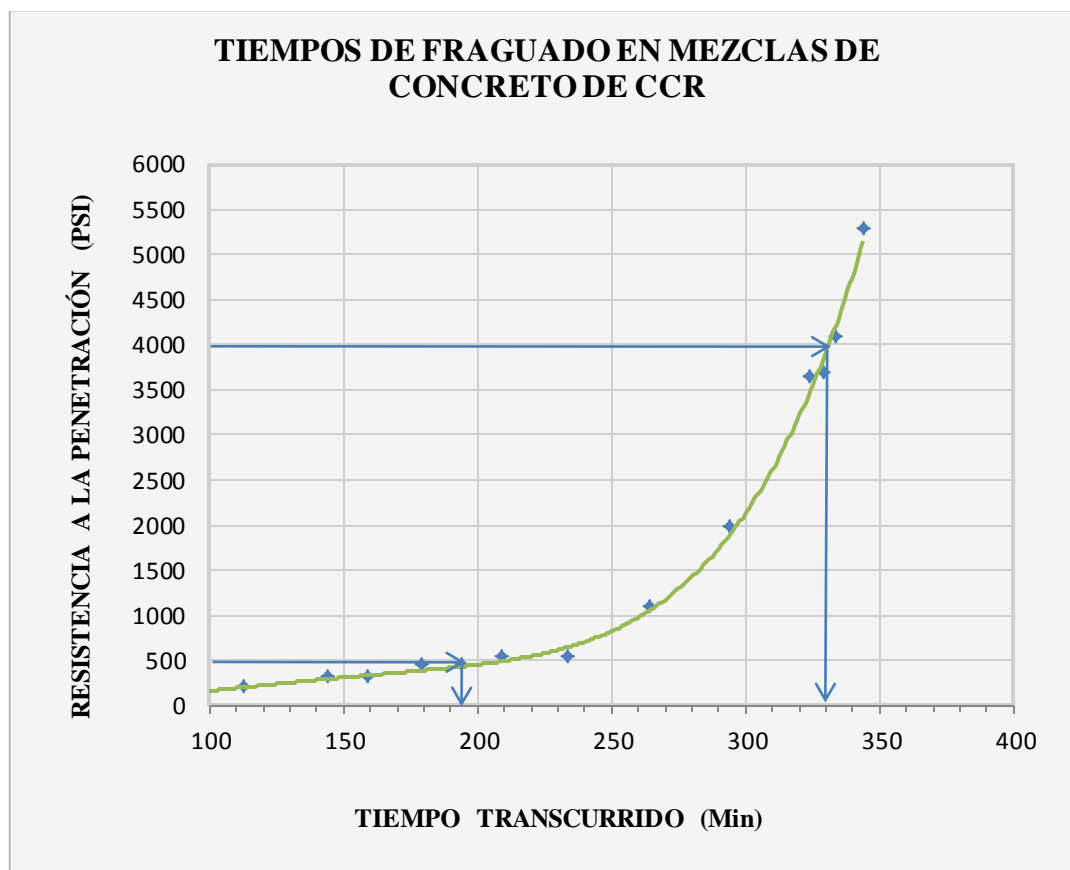
Fraguado Inicial = 193 min
 Fraguado Final = 330 min

Esfuerzo = 500 psi
 Esfuerzo = 4000 psi

www.iscyc.net

Fuente: Los autores

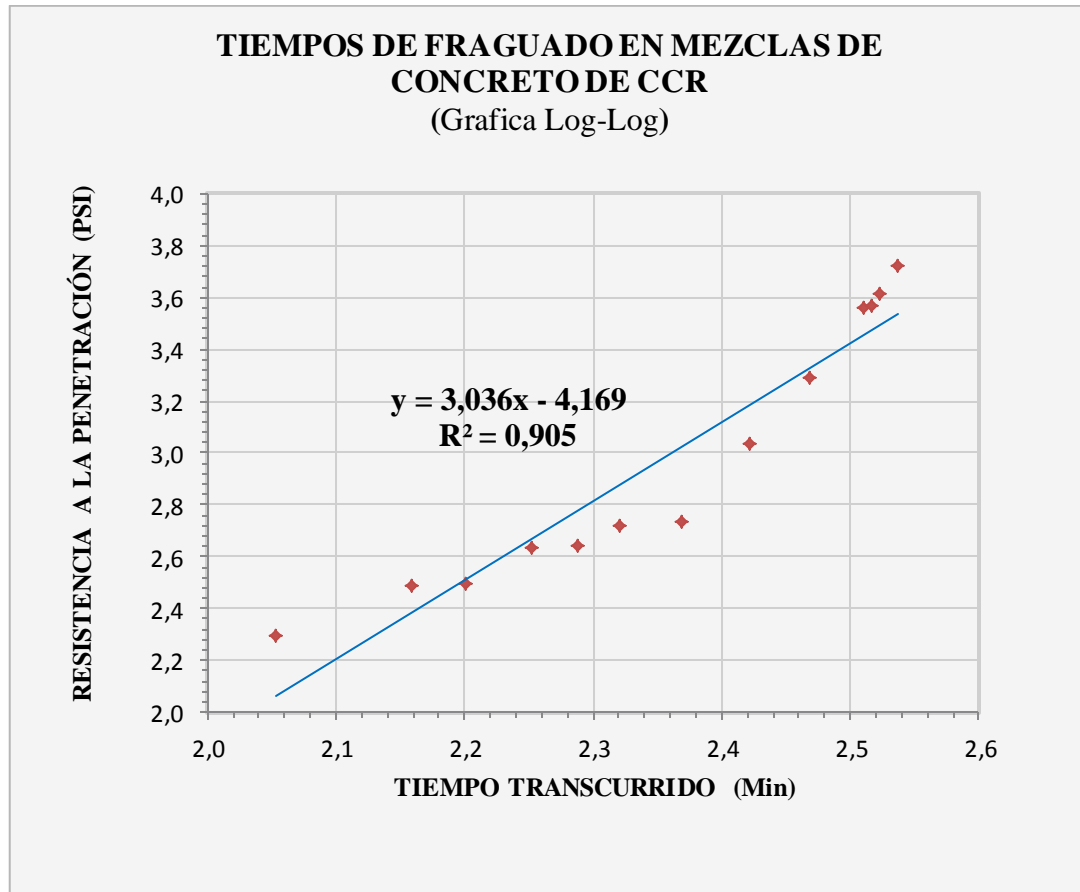
FIGURA N° 5.3: GRAFICA TIEMPO-ESFUERZO DE LOS RESULTADOS TIEMPOS DE FRAGUADO



Fuente: Los autores

Se obtuvo un fraguado inicial a las 3 horas 13 min (193 min), y un fraguado final a las 5 horas 30 min (330 min), valores obtenidos de la grafica Tiempo-esfuerzo graficada en papel log-log presentada en la Figura N° 5.3. Los valores obtenidos se muestran de forma detallada en la tabla N° 5.4. La figura 5.4 muestra la grafica log-log de los tiempos de fraguado en la mezcla de CCR.

FIGURA N° 5.4: TIEMPOS DE FRAGUADO GRAFICADOS EN PAPEL
LOG-LOG



Fuente: Los autores

5.3.4 RESULTADOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS EN ESTADO FRESCO

Los resultados de los pesos volumétricos en estado fresco se encuentran en detalle en el Anexo E de este documento, para este análisis se separaron los datos por relaciones agua-cemento y por metodología de llenado de cilindros. En las figuras N° 5.5 y N° 5.6 se muestran los resultados de los ensayos de pesos volumétricos para la relación a/c de 0.46, en las figuras N° 5.7 y N° 5.8 los resultados de los cilindros elaborados con una relación a/c de 0.47 y en las figuras N° 5.8 y N° 5.9 los resultados de los cilindros elaborados con una relación a/c de 0.48.

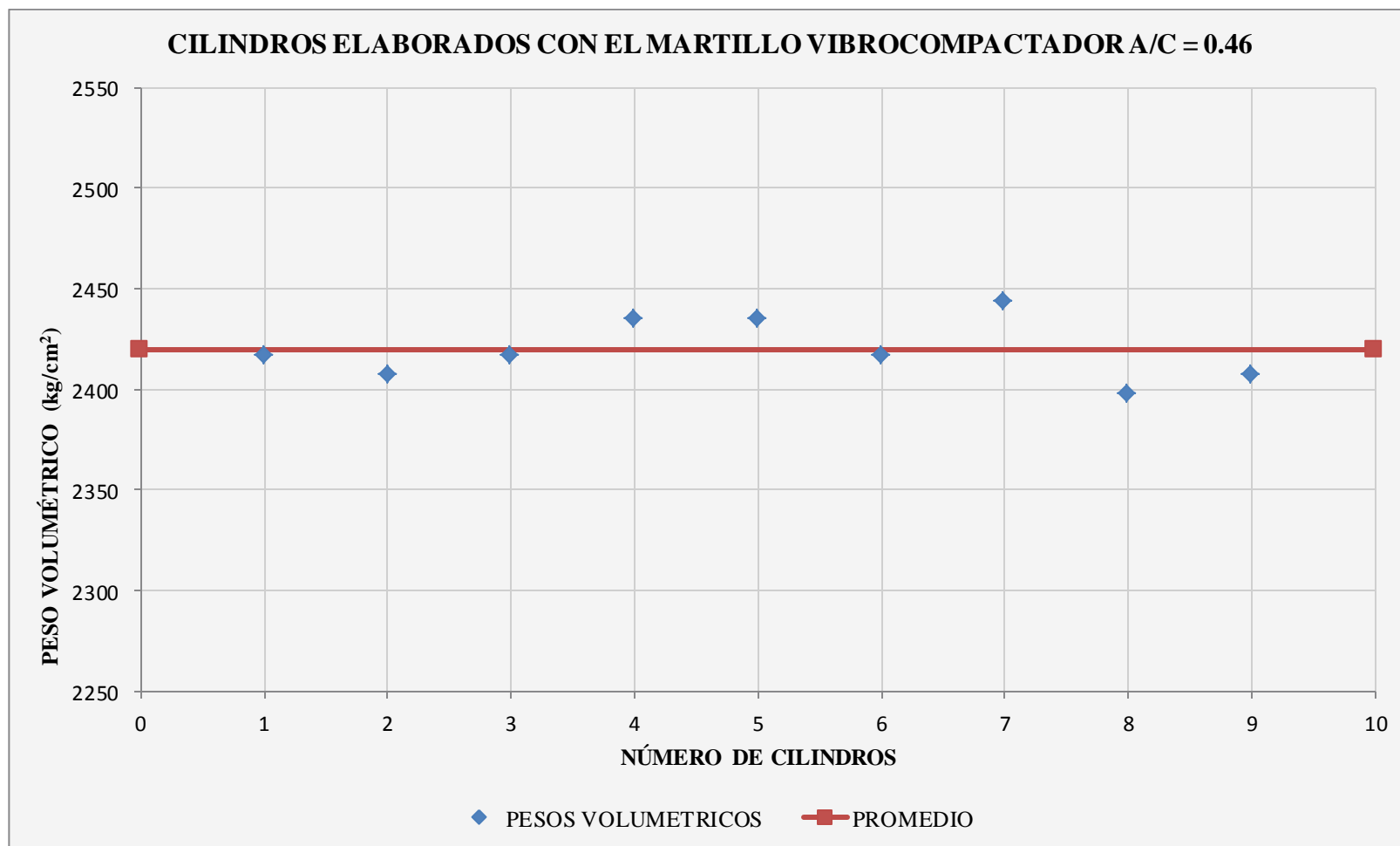
Para una relación a/c de 0.48, cuando los cilindros fueron elaborados con la Mesa Vibratoria los resultados de pesos volumétricos, variaron de 2307 a 2444 kg/m³ obteniendo un promedio de 2402 kg/m³. Mientras que cuando los cilindros fueron elaborados con el Martillo Vibrocompactador los valores variaron entre 2380 a 2488 kg/m³ obteniéndose un promedio de 2436 kg/m³. Para esta relación agua-cemento con el martillo Vibrocompactador se obtuvo un incremento en los pesos volumétricos de 1.4 % con relación a los pesos volumétricos obtenidos con la mesa vibratoria.

La obtención de un peso volumétrico más alto cuando se trabaja con el martillo Vibrocompactador se da por los altos grados de compactación que se obtienen con él, en este tipo de mezclas con consistencia seca y que no se pueden lograr con la mesa vibratoria.

Para una relación a/c de 0.47, los resultados obtenidos con la Mesa Vibratoria variaron entre 2353 a 2453 kg/m³ obteniendo un promedio de 2410 kg/m³. Mientras que cuando los cilindros fueron elaborados con el Martillo Vibrocompactador los valores variaron entre 2393 a 2472 kg/m³ obteniéndose un promedio de 2433 kg/m³. Para la relación a/c de 0.47 el incremento de los pesos volumétricos de cilindros elaborados con el martillo Vibrocompactador, frente a los elaborados con la mesa vibratoria es de 1%

Para una relación agua-cemento de 0.46, los resultados de los pesos volumétricos del CCR en estado fresco se obtuvieron valores con la Mesa Vibratoria que variaron entre 2353 a 2417 kg/m³, obteniendo un promedio de 2390 kg/m³. Mientras que cuando los cilindros fueron elaborados con el Martillo Vibrocompactador los valores variaron entre 2398 a 2444 kg/m³ obteniéndose un promedio de 2420 kg/m³. Para la relación agua-cemento de 0.46 el incremento de los pesos volumétricos de cilindros elaborados con el martillo Vibrocompactador, frente a los elaborados con la mesa vibratoria es de 1.2 %.

FIGURA N° 5.5: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.46



Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.6: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRAOTIRA A/C = 0.46

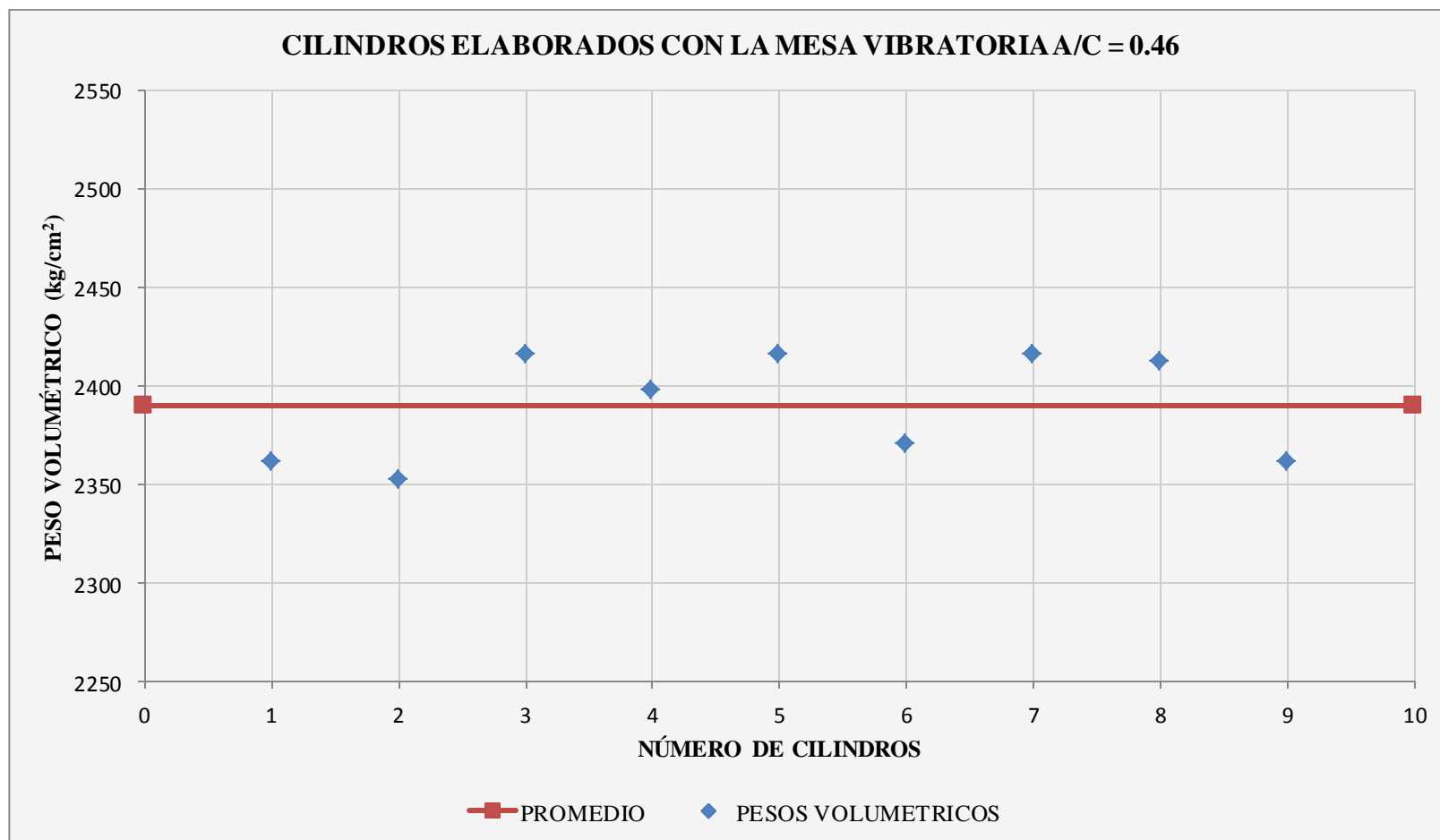
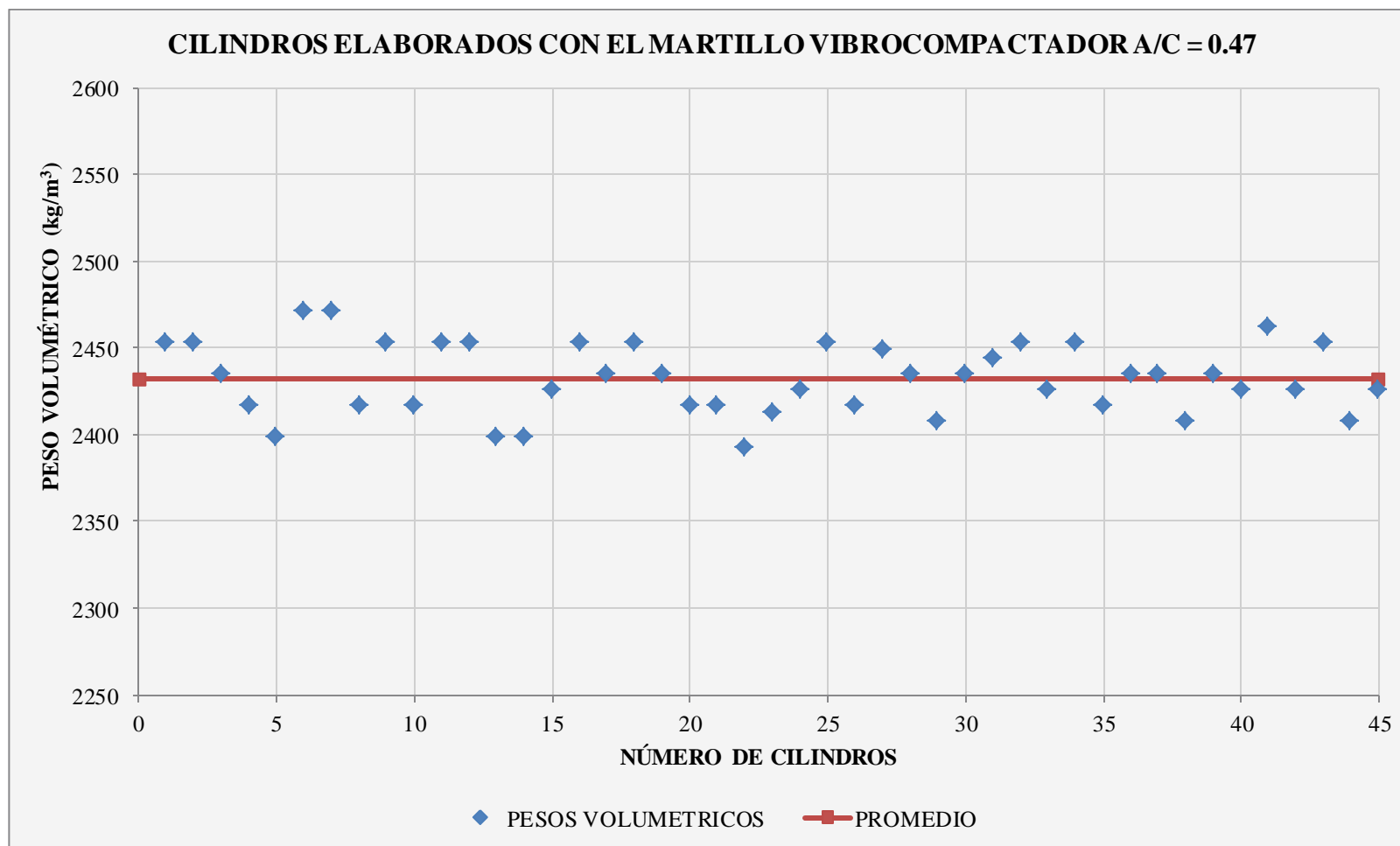
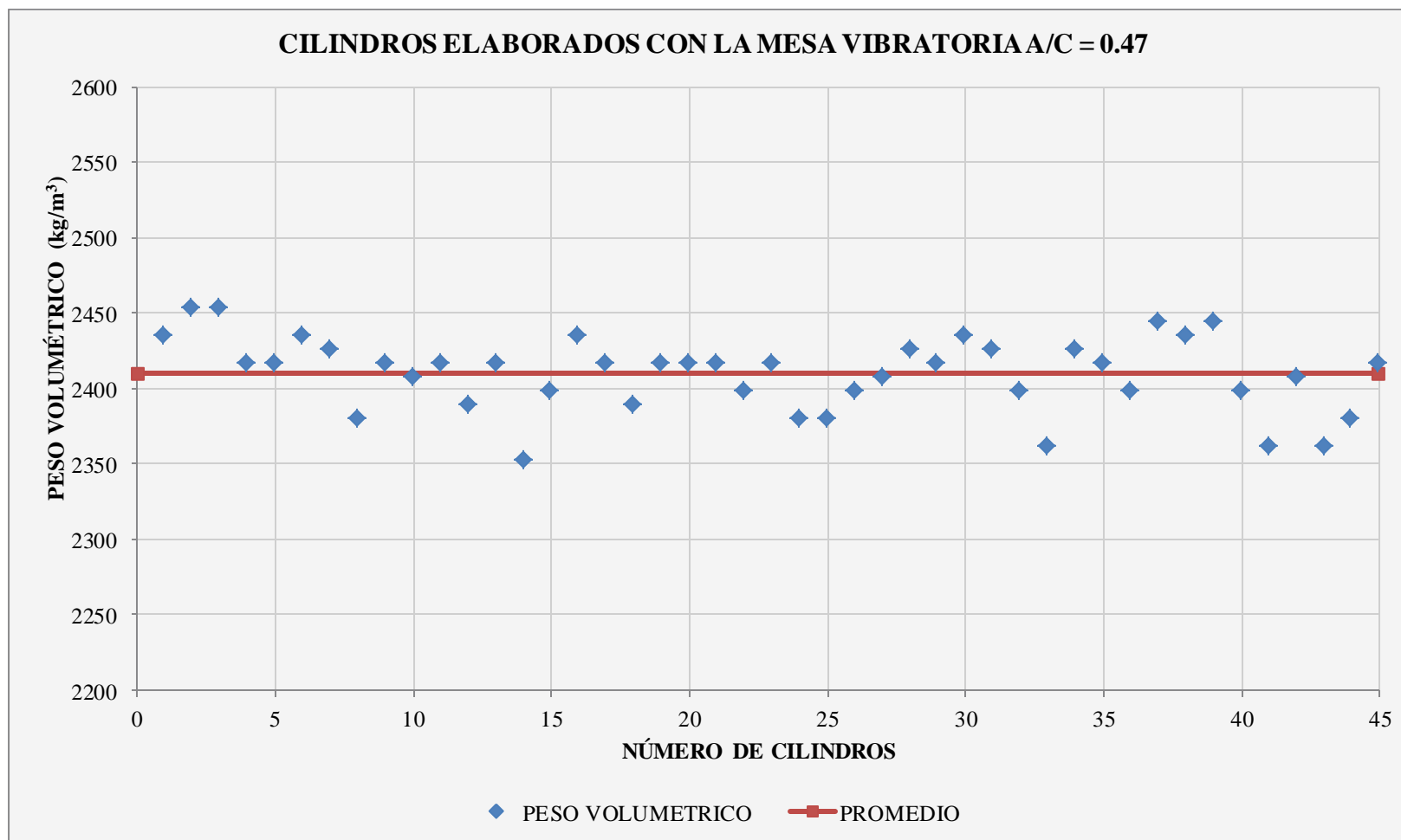


FIGURA N° 5.7: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.47



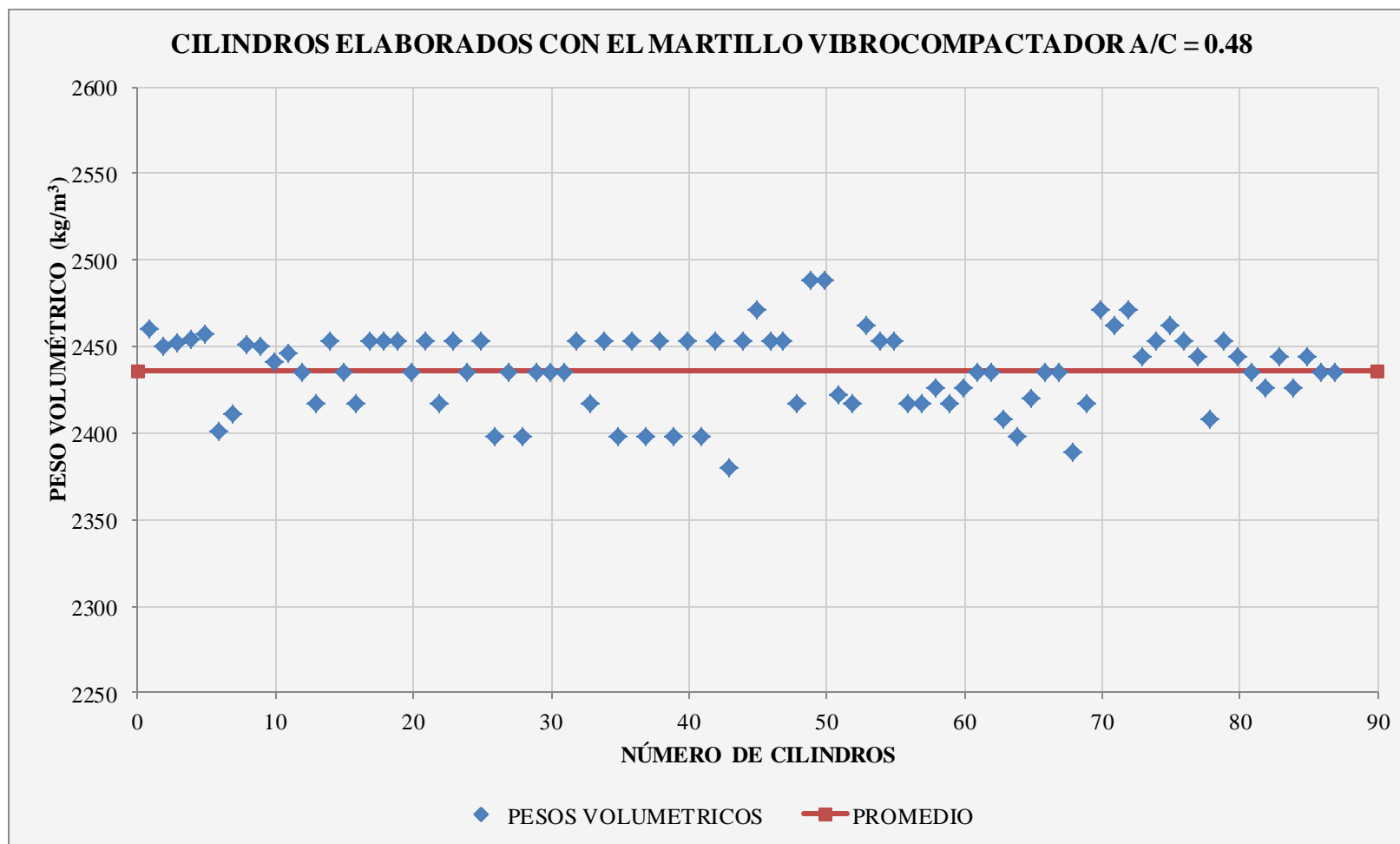
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.8: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA $A/C = 0.47$



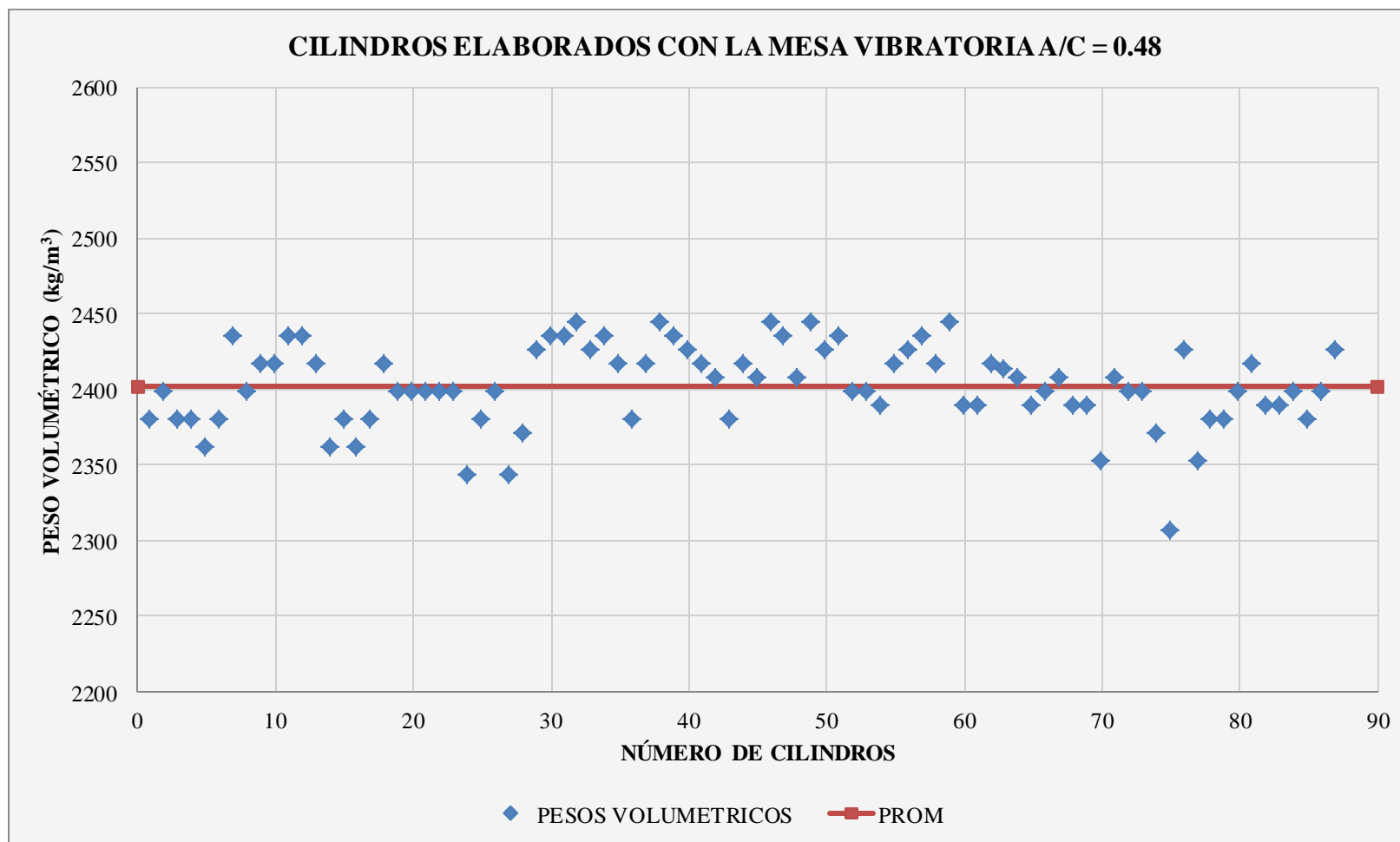
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.9: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.48



Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.10: PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.48



Fuente: Los autores

5.3.5 ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

En esta sección, se describirán las ventajas y desventajas que se determinaron en el momento de elaborar las probetas de prueba por los dos métodos de llenado de cilindros (Mesa vibratoria y Martillo Vibrocompactador).

En la elaboración de especímenes se determinaron visualmente, ciertas características para ambos métodos de llenado de cilindros, entre ellas tenemos:

1. Optimización del tiempo
2. Procedimiento más sencillo
3. Metodología más confiable

1. Optimización del tiempo

En el laboratorio, se obtenía por bachada, 6 probetas cilíndricas, de las cuales 3 se elaboraban con la Mesa vibratoria y 3 con el Martillo Vibrocompactador. Tomando un tiempo promedio de todas las mezclas elaboradas, se puede decir que el tiempo de elaboración de los 3 cilindros con el Martillo Vibrocompactador era de aproximadamente 25 min (8.3 minutos por cilindro, incluyendo la colocación del molde, enrasado y pesado de cada cilindro), mientras que los elaborados con la Mesa Vibratoria era de 45 min.

Los tiempos de vibrado para cada capa en un cilindro, fueron los mismos (10 segundos), en ambas metodologías; pero el equipo que se utiliza con la Mesa vibratoria no permite la hechura de más de un cilindro a la vez, mientras que con el Martillo Vibrocompactador, se pueden moldear tres cilindros de forma continua, apresurando de esta manera el proceso de llenado. En la Figura N° 5.11 se muestra la manera de cómo se elaboraban los cilindros por ambas metodologías.

FIGURA N°5.11: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES POR AMBOS MÉTODOS



En la imagen de la izquierda se presenta la elaboración de cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador; en la imagen de la derecha se muestra la elaboración de cilindros con la Mesa Vibratoria.

Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

2. Procedimiento más sencillo

El molde utilizado en esta investigación para probetas de concreto tiene las siguientes dimensiones de diámetro 6 pulg y 12 pulg de altura, está compuesto por una placa base y un molde cilíndrico.

Cuando los cilindros eran elaborados con la Mesa vibratoria, era necesario separar la base del molde, pues por la forma del equipo no se podía colocar todo en conjunto, en la figura N° 5.12 se muestra el equipo de la Mesa Vibratoria.

FIGURA N° 5.12: EQUIPO DE LA MESA VIBRATORIA

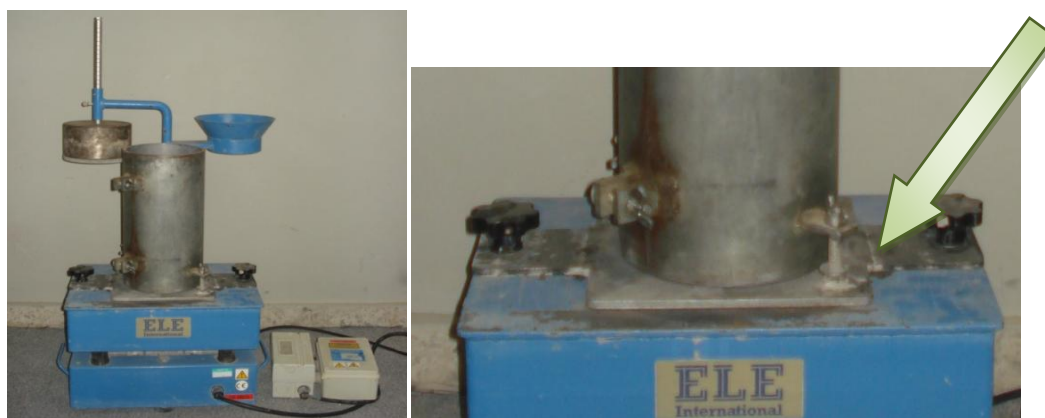


Imagen izquierda muestra el equipo de la Mesa vibratoria en conjunto, imagen derecha muestra el detalle de la placa donde se coloca el molde cilíndrico sin la placa base.

Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

Luego de llenado el molde con concreto, para retirar el cilindro y colocarle su placa base se tenía que deslizar desde la mesa vibratoria, sostener el cilindro y colocarle la base de forma delicada para que la muestra no sufriera daños. (Figura N° 5.13)

**FIGURA N° 5.13: MOLDE CILÍNDRICO EN LA MESA VIBRATORIA,
DESENMOLDADO PARA COLOCARLE SU PLACA BASE**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

3. Metodología más confiable

Por los problemas expuestos en los literales anteriores, se puede decir que el método más confiable, rápido y sencillo, para el llenado de cilindros de una mezcla de consistencia seca es donde se utiliza el Martillo Vibrocompactador (figura N° 5.14), siempre y cuando se mantengan las características usadas en esa investigación (Consistencia seca, tiempo Vebe entre 5 a 10 segundos y resistencia a la compresión de $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$)

FIGURA N° 5.14: LLENADO DE MOLDE CILÍNDRICO CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR, CON SU PLACA BASE RESPECTIVA



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

5.4 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Para analizar las propiedades del CCR en estado endurecido se realizaron los ensayos de Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del concreto a compresión, y Velocidad de Pulso a través del concreto, en cumplimiento con las especificaciones de las normas ASTM.

5.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la elaboración de los especímenes de prueba a compresión se utilizaron moldes de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura (según ASTM C 192), los cuales fueron llenados según las practicas descritas en la sección 3.3.6.

En total, se ensayaron 282 especímenes para las edades de 7, 28 y 56 días, bajo la especificación de la norma ASTM C 39, para la construcción de la curva edad vs resistencia, la cual nos definirá el comportamiento del concreto en el tiempo; la cantidad de bachadas reproducidas en el laboratorio fue de cincuenta para obtener la cantidad de especímenes deseados.

Todos los cilindros fueron desmoldados 24 horas después de haber sido colados, y posteriormente fueron inmersos en agua (en tanque de almacenamiento, ver sección 3.3.6.3); hasta cumplir la edad establecida para su ensayo.

Cabe mencionar, que el acabado de los especímenes luego de ser desmoldados fue el esperado, cuando los cilindros fueron elaborados con el método de Martillo Vibrocompactador, ya que en toda la estructura externa de la probeta no se observaron oquedades; sin embargo para los cilindros elaborados con la metodología de la Mesa Vibratoria se obtuvieron oquedades en algunos especímenes en la parte externa; en cuanto al acabado en la superficie se observó una pequeña lámina irregular a pesar de que se le realizó un enrasado previo al fraguado; y en cuanto a la estructura interna pudo observarse homogeneidad en la distribución de la matriz del concreto. Estos resultados nos indican que el concreto se acomodó y distribuyó mejor al aplicarle la energía de compactación a los especímenes elaborados conforme a la ASTM C 1435, que los elaborados con la ASTM C 1176.

Para el ensayo de resistencia se utilizaron almohadillas de neopreno que cumplen con las características de espesor y dureza especificadas en la norma ASTM C 1231. Para esta investigación se utilizó dureza 70 con un máximo de 100 reusos, para esfuerzos a la compresión entre 4000 a 7000 psi.

Además, hay que resaltar que los resultados obtenidos a la edad de 7 días, para una relación a/c de 0.48, presentan valores de ganancia de resistencia a la compresión de 92.5% a 103.8 % de la resistencia en estudio (280 kg/cm^2), en cilindros elaborados conforme a la ASTM C 1435 (Martillo Vibratorio), y de 81.7% a 101 % para cilindros elaborados conforme a la ASTM C 1176 (Mesa Vibratoria). La Tabla N° 5.5 muestra un resumen de las resistencias máximas y mínimas obtenidas a las diferentes edades, para una relación a/c de 0.48 y la tabla N° 5.6 el resumen de las resistencias para una relación de 0.47 así como la ganancia de resistencia para cada una.

TABLA N° 5.5: RESISTENCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS OBTENIDAS POR LOS DOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN A/C = 0.48

	Martillo Vibrocompactador ASTM C 1435			Mesa Vibratoria ASTM C 1176		
	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
Resistencias Mínimas (kg/cm^2)	258.9	333.1	399.3	228.7	301.3	391.1
Ganancia de resistencia (%)	92.5	119	142.5	81.7	107.6	139.7
Resistencias Máximas (kg/cm^2)	290.8	428	491.8	282.8	414	462.1
Ganancia de resistencia (%)	103.8	152.8	175.6	101	147.8	165

Fuente: Los autores

TABLA N° 5.6: RESISTENCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS OBTENIDAS POR LOS DOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN A/C = 0.47

	Martillo Vibrocompactador ASTM C 1435			Mesa Vibratoria ASTM C 1176		
	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
Resistencias Mínimas (kg/cm ²)	249.9	355.5	409	238.7	322.1	402.1
Ganancia de resistencia (%)	89.2	127	146.1	85.3	115	143.6
Resistencias Máximas (kg/cm ²)	318.1	425.1	473	290.5	448.5	466.3
Ganancia de resistencia (%)	113.6	151.8	168.9	103.7	160.2	166.5

Fuente: Los autores

5.4.2 ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN EL CONCRETO.

El módulo de elasticidad es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. El coeficiente de Poisson es la relación entre la deformación lateral que acompaña una deformación axial aplicada y la deformación final se utiliza en el diseño y análisis de muchos tipos de estructuras. La relación de Poisson del CCR puede variar en un rango de 0.17 a 0.22. Mientras que para el módulo de elasticidad estático usado en el CCR no se tienen valores medidos en proyectos nacionales; se dice que generalmente son muy similares a los de concreto convencional, en la tabla N° 2.10 de este documento se muestran algunos resultados de módulos de elasticidad estático de proyectos donde se

ha utilizado concreto masivo compactado con rodillo en el mundo, pero estos concretos han sido utilizados en presas, por lo que no se puede hacer una comparación aceptable. Por tal razón se utilizara la ecuación (5.1) según el ACI 318, para resultados a 28 días; con esta ecuación se obtiene el módulo de elasticidad del concreto de manera teórica que luego se comparara con los resultados obtenidos en laboratorio.

$$\text{Ecuación (5.1), según ACI 318: } E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$$

$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 15100 \sqrt{280}$$

$$E_c = 2.53 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

En la Tabla N° 5.7 se presentan en resumen de los datos obtenidos en la prueba de módulo de elasticidad para cada uno de los especímenes ensayados a las edades de 7, 28 y 56 días de edad. Analizando estos resultados a 28 días de la tabla N° 5.8, se observa que los módulos estáticos de ambos métodos están por encima del módulo estático del concreto teórico de $E_c = 2.53 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ para un $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ reflejando un gran margen de seguridad respecto a los valores teóricos propuestos por el ACI 318. Esto significa que el concreto elaborado tiene un comportamiento más elástico que lo que se esperaba de manera teórica.

TABLA N° 5.7: RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON A DIFERENTES EDADES.

Método de fabricación de cilindros	N° de espécimen	a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			Módulo de elasticidad (kg/cm ²)*E+05			Relación de Poisson		
			7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
ASTM C 1176	CV-2	0.48	263.5			2.61			-		
	CV-3	0.48	263.5			2.74			-		
	BV-2	0.48		368.7			3.08			0.149	
	BV-3	0.48		368.7			3.12			0.141	
	AV-2	0.48			407.6			3.06			0.172
	AV-3	0.48			407.6			3.25			0.181
ASTM C 1435	CM-2	0.48	257.1			3.18			-		
	CM-3	0.48	257.1			3.01			-		
	BM-2	0.48		349.6			3.25			0.175	
	BM-3	0.48		349.6			3.22			0.149	
	AM-2	0.48			407.6			3.27			0.197
	AM-3	0.48			407.6			3.38			0.196

Fuente: los autores

TABLA N° 5.8: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICOS Y RELACIÓN DE POISSON A DIFERENTES EDADES

Método	Edad (días)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Módulo promedio (kg/cm ²) * 10 ⁵	Módulo teórico (kg/cm ²) * 10 ⁵	Relación de Poisson
Mesa Vibratoria	7	263.50	2.68	2.45	-
	28	368.70	3.10	2.90	0.145
	56	407.60	3.12	3.05	0.177
Martillo Vibrocompactador	7	257.10	3.05	2.42	-
	28	349.60	3.24	2.82	0.162
	56	407.60	3.33	3.05	0.197

Fuente: Los autores

Se observa en la tabla N° 5.8 que el módulo de elasticidad estático promedio de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador a la edad de 7 días es superior en $0.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ al módulo estático de los cilindros elaborados con la Mesa vibratoria. Lo mismo sucede en el caso de los cilindros ensayados a la edad de 28 días, donde las probetas elaborados con el Martillo Vibrocompactador tiene resultados mucho más altos en un $0.14 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ que las elaboradas con la mesa vibratoria.

A la edad de 56 días se muestra que los módulos estáticos siguen la misma tendencia con respecto de un método y el otro; los módulos estáticos de los cilindros elaborados con la Mesa vibratoria son menores en un $0.21 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ que los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador.

Comparando los promedios de los resultados a los 28 días de la relación de Poisson, se observa que el resultado promedio de cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador es un 6 % mayor que el resultado promedio de cilindros elaborados con la Mesa vibratoria. A la edad de 56 días, se tiene un promedio de la relación de Poisson de 0.197 utilizando el Martillo Vibrocompactador, mientras que para la Mesa Vibratoria se obtiene un promedio de 0.177, obteniendo un porcentaje de 20 % mayor para el Martillo Vibrocompactador sobre la Mesa Vibratoria.

Al comparar los rangos de valores de relación de Poisson teóricos (0.17 a 0.22) con los obtenidos en esta investigación, para los cilindros moldeados con la mesa vibratoria se

tiene una relación de Poisson promedio de 0.145 y para los cilindros elaborados con el martillo Vibrocompactador de 0.162; dichos valores caen bajo este rango para la edad de 28 días.

Los resultados para cada espécimen han sido separados según su metodología de elaboración, mostrando en el anexo F los resultados de modulo de elasticidad y relación de Poisson, de cilindros elaborados con el martillo Vibrocompactador (ASTM C 1435) y en el anexo G los resultados de cilindros elaborados con la Mesa vibratoria (ASTM C 1176).

5.4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE VELOCIDADES DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO

La velocidad de pulso es un método de ensayo no destructivo en la que se mide propiedades físicas del concreto relacionada con su resistencia. Este ensayo ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el concreto. No existe ninguna relación especial entre esta velocidad y la resistencia del concreto, pero, en condiciones especificadas, las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad de concreto; un cambio en la densidad da como resultado un cambio en la velocidad de pulso. De manera similar, en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente. Así pues, un descenso en la densidad

causado por un incremento en la relación agua/cemento hace disminuir tanto la resistencia a la compresión del concreto como la velocidad de la onda, transmitido a través de éste.

Para esta investigación, se llevo a cabo la realización de este ensayo con los mismos especímenes elaborados para el ensayo de resistencia a la compresión, cuyo objetivo fue la determinación de la propagación de la velocidad de pulso de ondas de esfuerzo longitudinal a través del concreto. En la Tabla N° 5.9 se muestra un resumen de los valores obtenidos de los especímenes ensayados; en los anexos H y I de este documento se muestra los datos obtenidos de laboratorio para cada espécimen el cual han sido separados por su metodología de elaboración.

Al comparar los resultados obtenidos, de los módulos dinámicos a la edad de 7 días, se puede establecer que existe un porcentaje del 6 % superior para los cilindros elaborados con el equipo del Martillo Vibrocompactador. La misma tendencia le sigue para las edades de 28 y 56 días, donde los módulos dinámicos de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador son mayores en un 7 % y 8 % respectivamente que los elaborados con la Mesa Vibratoria, por lo que se logran mejores densidades con el Martillo Vibrocompactador.

TABLA N° 5.9: RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO.

Método de elaboración de cilindros	N° del cilindro	Edad (días)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tiempo (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi	Promedio		
							Tiempo (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
ASTM C 1435 Martillo Vibrocompactador	CM-7	7	2423	69.4	14409	6.77	69.40	14409	6.78
	CM-8	7	2425	69.3	14430	6.83			
	CM-9	7	2423	69.5	14388	6.75			
	BM-58	28	2440	67.8	14749	7.14	67.63	14779	7.18
	BM-59	28	2439	67.2	14861	7.27			
	BM-60	28	2429	67.9	14728	7.12			
	AM-37	56	2441	70.1	14265	7.20	69.90	14307	7.20
	AM-38	56	2432	70.6	14164	7.22			
AM-39	56	2440	69.0	14493	7.18				
ASTM C 1176 Mesa Vibratoria	CV-7	7	2406	71.0	14085	6.47	71.23	14039	6.38
	CV-8	7	2403	70.9	14104	6.44			
	CV-9	7	2390	71.8	13928	6.24			
	BV-58	28	2409	69.2	14451	6.76	69.63	14361	6.65
	BV-59	28	2380	70.2	14245	6.53			
	BV-60	28	2379	69.5	14388	6.66			
	AV-37	56	2410	70.0	14286	6.70	70.03	14279	6.64
	AV-38	56	2422	70.2	14245	6.61			
	AV-39	56	2424	69.9	14306	6.61			

Fuente: Los autores

5.4.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,200 y 2,400 kg/m³. El peso volumétrico del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del

agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado.

Para esta investigación se determinó, que la mezcla de CCR en estudio, posee pesos volumétricos cercanos a los del concreto convencional, manteniéndose en rangos desde 2289 a 2471 kg/m³. En la tabla N° 5.10 se encuentra en resumen los pesos volumétricos máximos y mínimos registrados en el concreto en estado endurecido, para cada método por el que fueron elaborados los cilindros.

TABLA N° 5.10: RESUMEN DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Pesos volumétricos máximos y mínimos						
a/c	Martillo Vibrocompactador (Kg/m ³)			Mesa Vibratoria (Kg/m ³)		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
0.46	2436	2385	2407	2405	2355	2381
0.47	2471	2401	2429	2429	2342	2398
0.48	2452	2379	2429	2446	2289	2400

Fuente: Los autores

Los resultados de la prueba de peso volumétrico del concreto expuestos en la tabla N° 5.18 demuestran que los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador son ligeramente mayores en un 1.2 % con respecto a los elaborados con la Mesa Vibratoria independientemente de la relación agua-cemento que se esté utilizando, el incremento

del peso volumétrico se debe, al mayor grado de compactación que se logra con el Martillo Vibrocompactador en mezclas de consistencia seca.

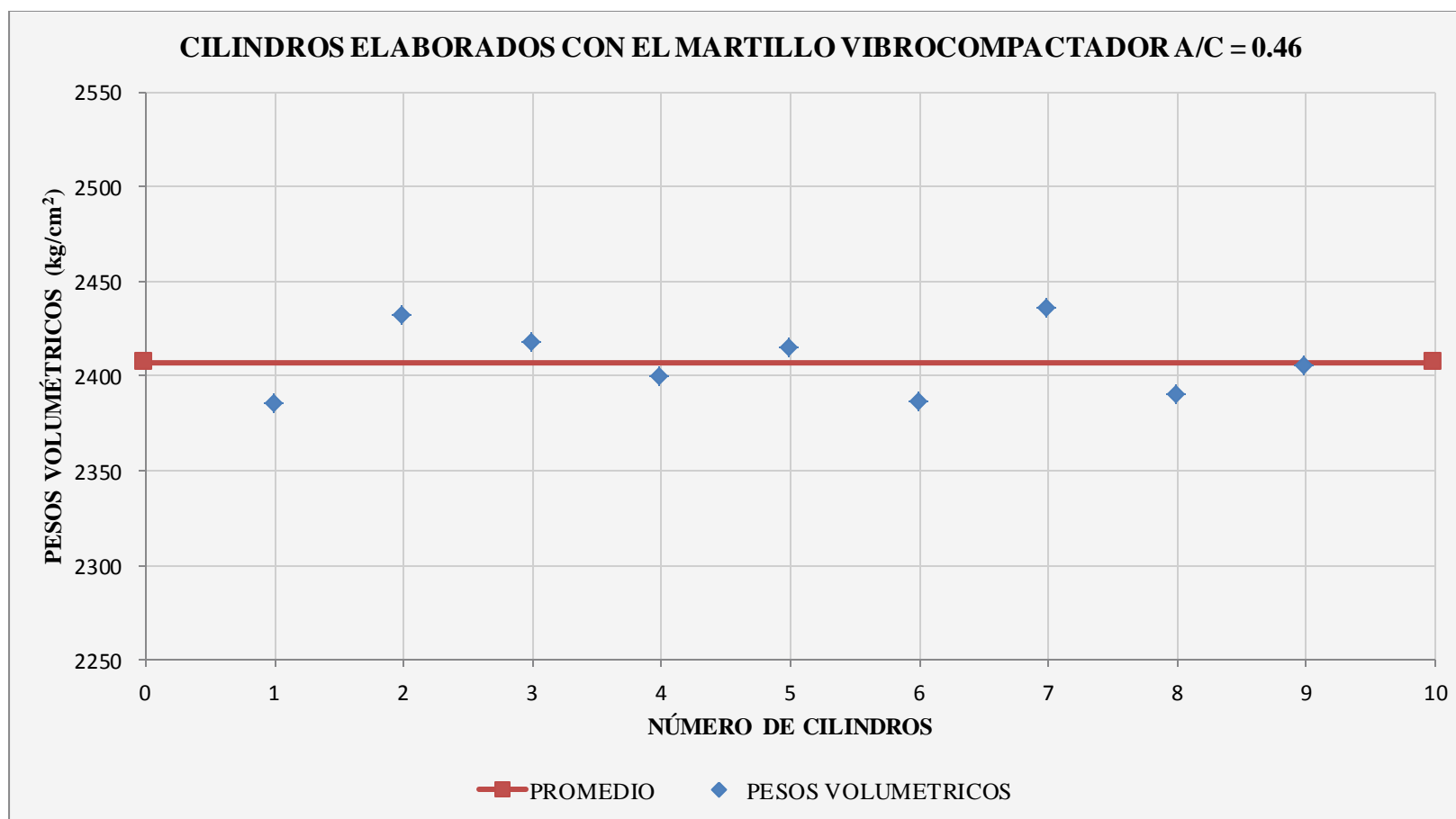
En la figura N° 5.16 y la figura N° 5.17 se muestran los pesos volumétricos para una relación a/c de 0.46; así como también, se puede observar de la figura N° 5.18 y la figura N° 5.19 los pesos volumétricos para una relación a/c de 0.47, son más homogéneos cuando se elaboran cilindros con el Martillo Vibrocompactador, pues la metodología de llenado es mucho más sencilla que con la Mesa Vibratoria. En la figura N° 5.15 se observan ambos métodos de llenado de cilindros. Lo mismo sucede con la mezcla de relación a/c de 0.48, los pesos volumétricos de los cilindros elaborados con la mesa vibratoria son mucho más variables. (Figura N° 5.20 y figura N° 5.21).

FIGURA N° 5.15: LLENADO DE CILINDROS POR AMBOS MÉTODOS EN ESTUDIO



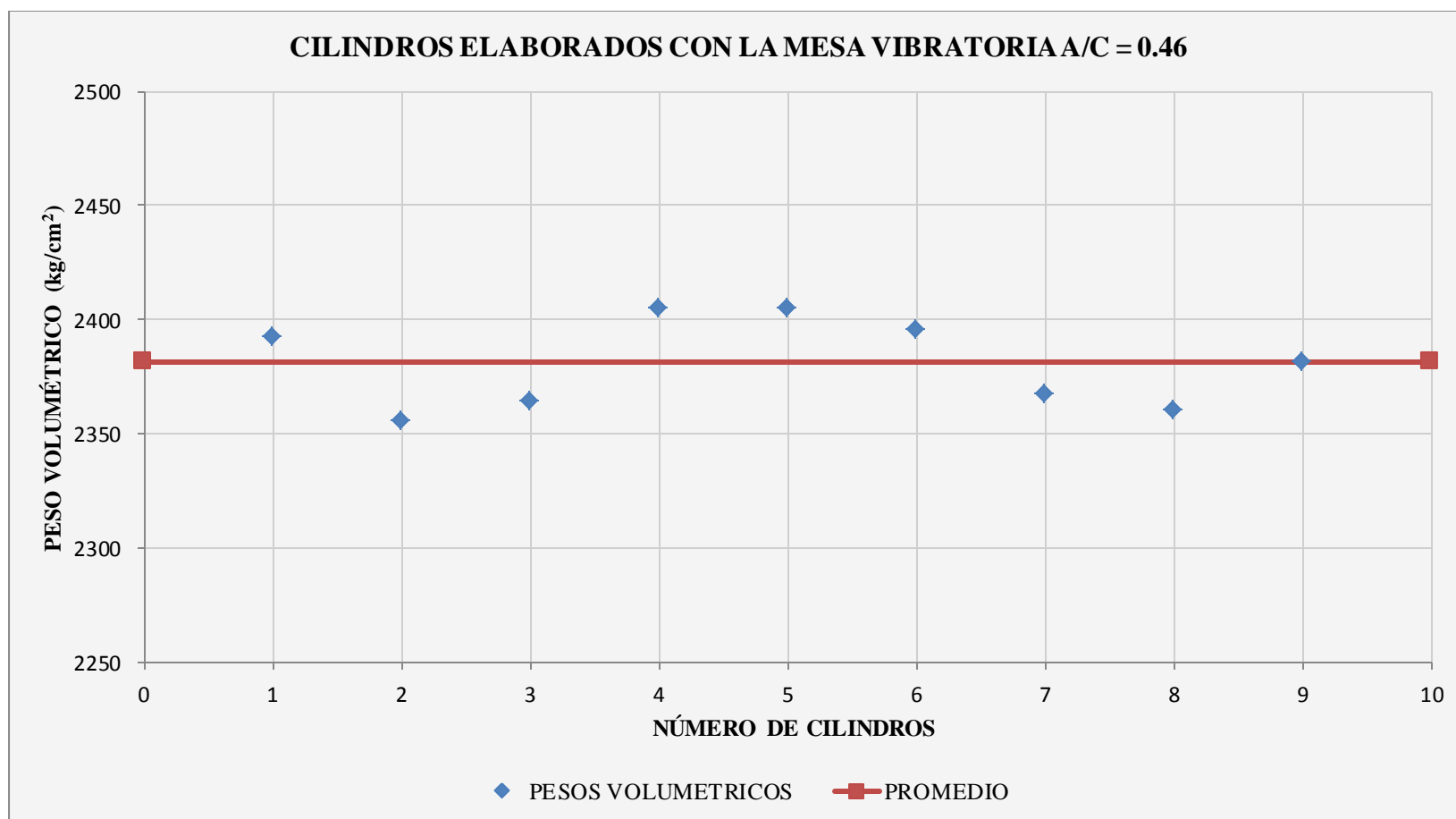
Figura (A): Elaboración de cilindros con el Martillo Vibrocompactador. (B) Cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria
Fuente: Fotografías tomadas en el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

FIGURA N° 5.16: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.46



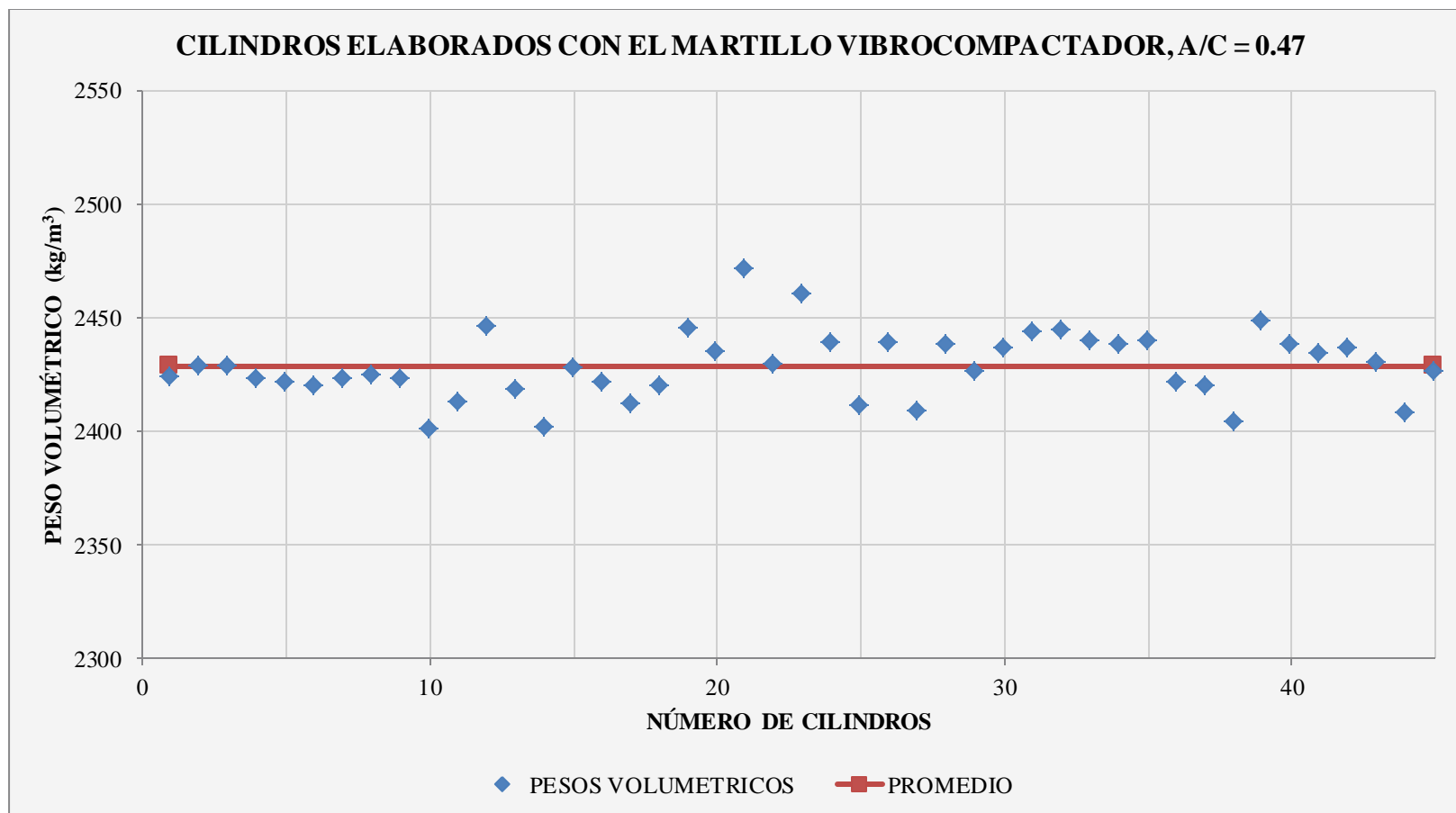
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.17: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA A/C = 0.46



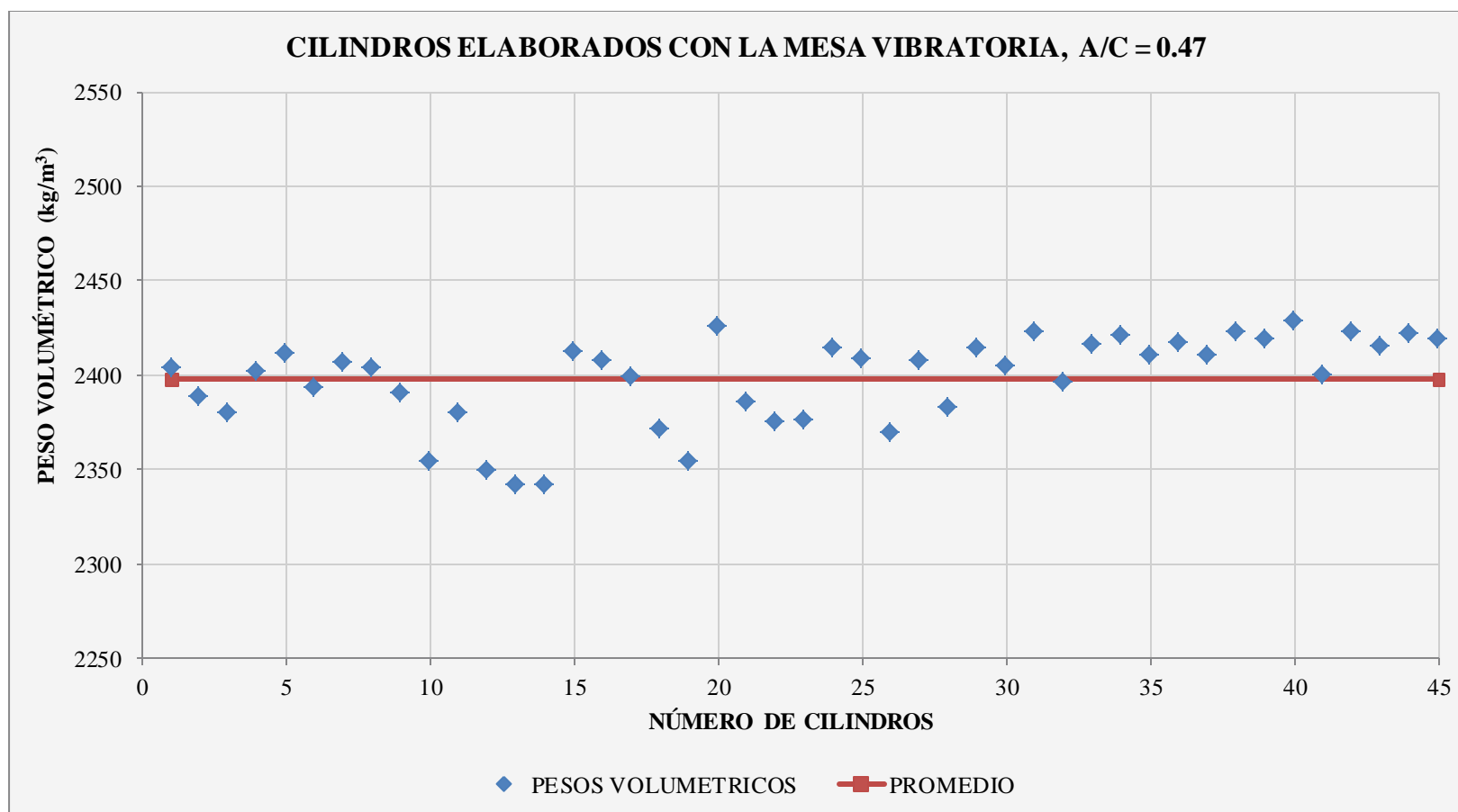
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.18: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.47



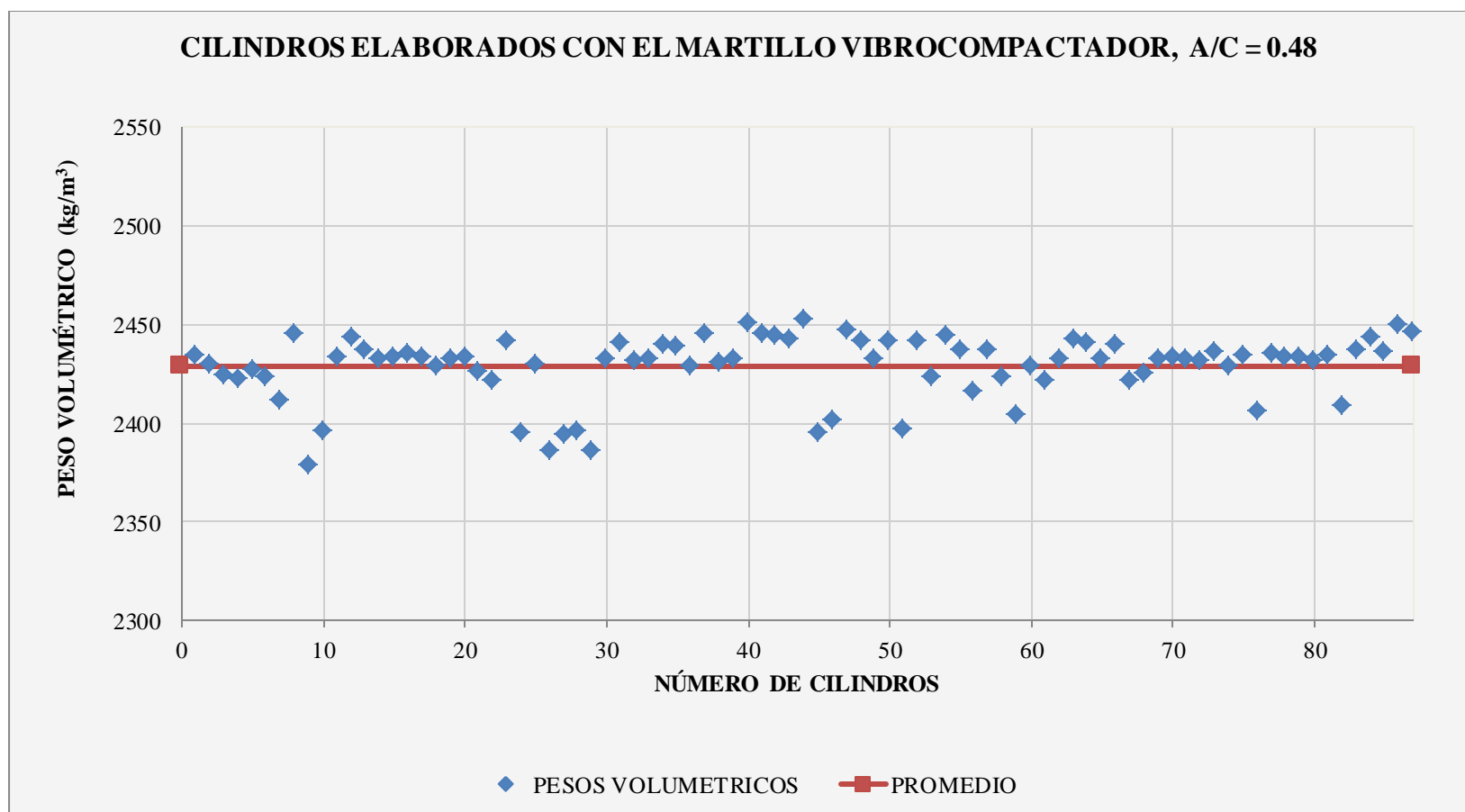
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.19: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA $A/C = 0.47$



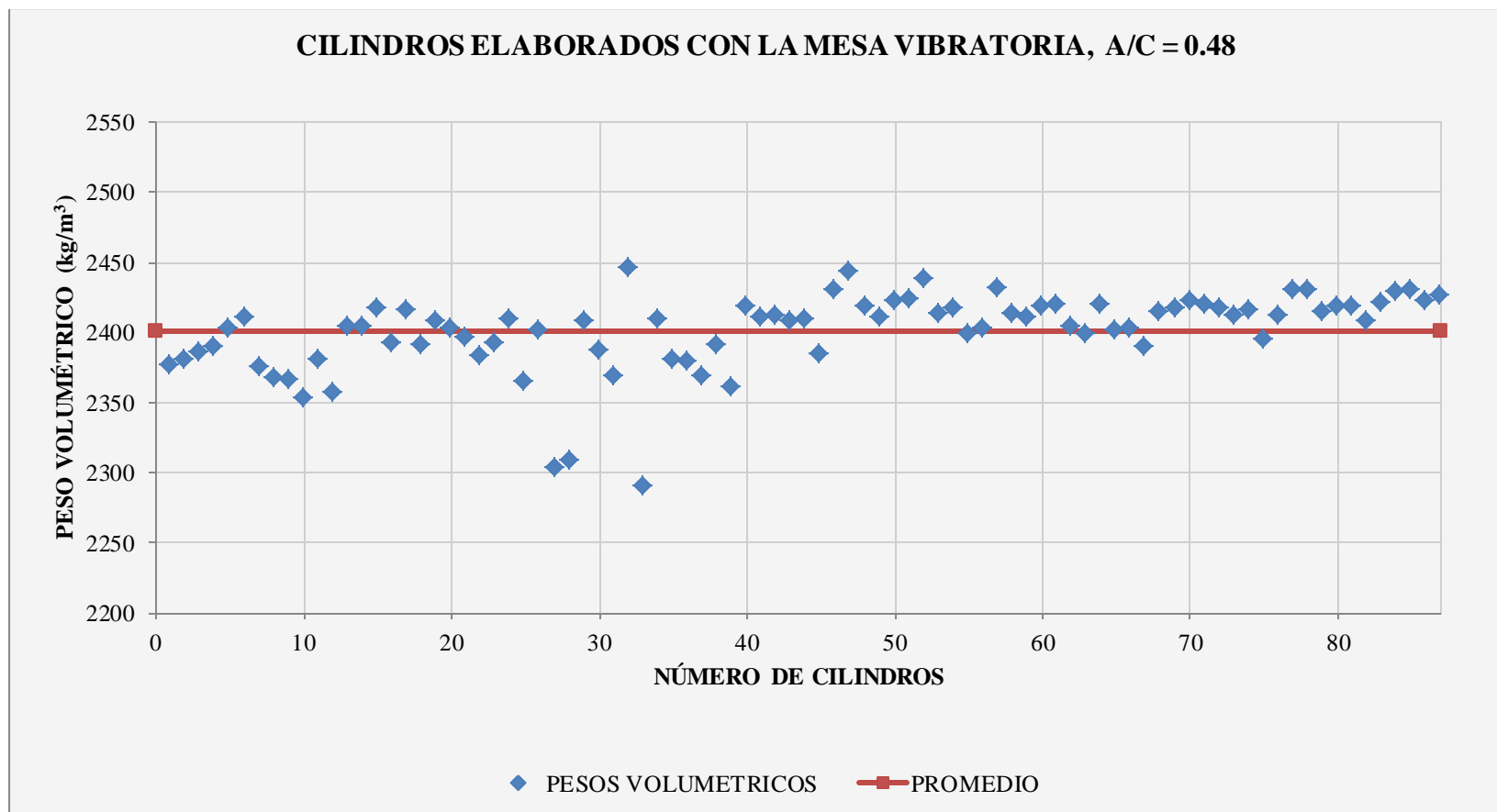
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.20: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR A/C = 0.48



Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.21: PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA $A/C = 0.48$



Fuente: Los autores

5.4.5 ANÁLISIS DEL TIPO DE FALLA

En el ensayo a la compresión se observaron y registraron diferentes tipos de fallas típicas definidas en la ASTM C 39.

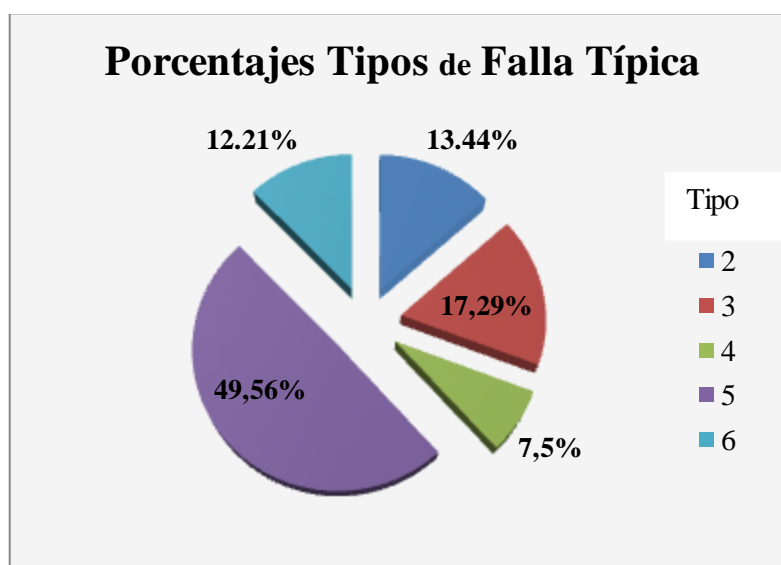
El análisis se ha realizado para las dos metodologías y para las tres relaciones a/c que se tienen, los resultados son los mostrados en la tabla N° 5.11.

TABLA N° 5.11: TIPOS DE FALLAS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo de falla típica	Porcentaje %
2	13.44
3	17.29
4	7.50
5	49.56
6	12.21

Fuente: los autores

FIGURA N° 5.22: REPRESENTACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE LOS TIPOS DE FALLA



Fuente: Los autores

El tipo de falla más común registrado, fue el tipo 5 con un porcentaje del 49.56 %, en el cuál la fractura se da en la parte superior o inferior solamente en una esquina de la probeta. La figura N° 5.23, muestra el tipo de falla observados en los especímenes ensayados a la compresión.

Los tipos de falla 2,3 y 6 resultaron porcentajes de 13.44 %, 17.29 % y 12.21 %. Para el tipo de falla 4 se obtuvo un porcentaje de 7.5 %.

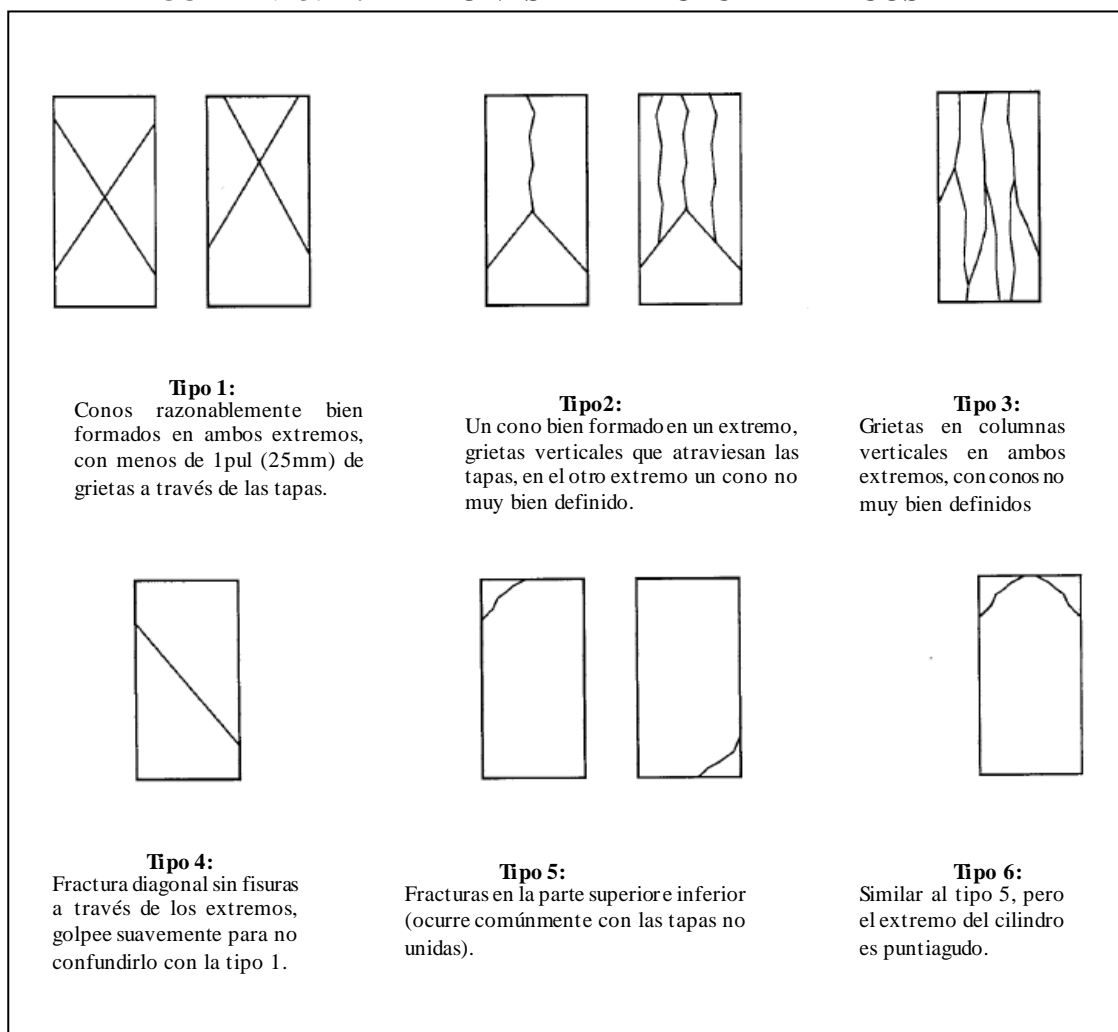
FIGURA N° 5.23: TIPOS DE FALLA EN LOS CILINDROS ENSAYADOS



Fuente: Los autores

En la realización del ensayo a la compresión se espera que la carga sea distribuida uniformemente sobre las caras de apoyo, y de esta manera hacer que todo el espécimen trabaje para resistir la carga. Para esta investigación el tipo de falla encontrada nos indica que la carga no se distribuía de manera uniformemente sobre las bases de apoyo de neopreno. La figura N° 5.24 muestra los tipos de fractura típicos que se obtienen en el ensayo de resistencia a la compresión.

FIGURA N° 5.24: PATRONES DE FRACTURA TÍPICOS



Fuente: ASTM C39/C39M -05 “Método de ensayo estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”. Página 5.

5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Antes de iniciar con las correlaciones definidas en el capítulo III, sección 3.3.8, se determinará si los resultados obtenidos a través del período de ensayo al CCR en estado

endurecido han sido satisfactorios y cumplen con los requisitos de calidad para poder utilizarse.

Para conocer la calidad del CCR, se hará uso de los procedimientos estadísticos que proporcionan medios valiosos para evaluar los resultados de las pruebas de resistencias realizadas y de los procedimientos aplicados. De igual manera son utilizados para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño.

El comité ACI 214 “Practica Recomendable para la Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia del Concreto” proporciona un informe en el cual se discuten las variaciones que se presentan en la resistencia del concreto y muestran los procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones.

5.5.1 ANÁLISIS DE DATOS DE RESISTENCIA

Para obtener la mayor cantidad de información y de esta manera poder aplicar procedimientos estadísticos apropiados en la interpretación de resultados, se realizaron un número suficiente de ensayos, de tal forma que se pueda mostrar con buena confiabilidad la variación en el CCR producido. Las ecuaciones de estadística utilizadas para este fin son: el promedio, la desviación estándar, la varianza y el rango. Estas funciones pueden ser calculadas de la siguiente manera:

✚ **Promedio**, X_{prom} : es el promedio de resistencia de todos los ensayos individuales.

$$X_{prom} = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)}{n}$$

Donde:

X_{prom} = promedio

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ = resultados de resistencia de ensayos individuales.

“n” = número total de ensayos realizados. Un ensayo es definido como el promedio de resistencia de todos los especímenes de la misma edad de fabricación de una muestra tomada de una sola batchada del concreto.

✚ **Desviación Estándar**, σ : es la medida más generalmente reconocida de dispersión, es la raíz cuadrada de la desviación de las resistencias respecto de su promedio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - X_{prom})^2}{n - 1}}$$


Donde:

σ = Desviación estándar


X_{prom} = Resistencia promedio

X = Resistencia Individual

n = Número de ensayos

-  **Coefficiente de Variación, V:** la desviación estándar expresada como un porcentaje de la resistencia promedio.

$$V = \frac{\sigma}{X_{prom}} \times 100$$

-  **Rango, R:** es el estadístico determinado al restar el menor valor de un grupo del valor mayor, de dicho grupo. En una serie de ensayos el rango es determinado restando el menor valor del mayor valor de resistencias promedio del grupo de cilindros producidos.

Se ensayaron a la compresión un total de 282 cilindros, de los cuales 141 se elaboraron bajo la metodología de la Mesa Vibratoria y una cantidad igual con el Martillo Vibrocompactador, en la Tabla N° 5.12 se encuentran a detalle el número de cilindros elaborados por edad y por método.

TABLA N° 5.12: CANTIDAD DE CILINDROS ENSAYADOS A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BAJO NORMA ASTM C 39.

Método de fabricación de cilindro	Cantidad de cilindros ensayados a la resistencia a la compresión, por edad		
	7 días	28 días	56 días
ASTM C 1435	21	60	60
ASTM C 1176	21	60	60
Total de cilindros ensayados			282

Fuente: Los autores.

Para el análisis, se promediaron los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes moldeados con las dos diferentes metodologías, el promedio se ha realizado de tres especímenes; pues, para cada mezcla se moldearon tres especímenes por método.

Las Tabla N° 5.13 a tabla N° 5.19 muestra en resumen los datos obtenidos en laboratorio para cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador y de la tabla N° 5.20 a la tabla N° 5.26 para cilindros elaborados con la mesa vibratoria.

TABLA N° 5.13: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



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



PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
CM-1	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2423.70	3	304.0	108.6					
CM-2	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2428.09	2	313.3	111.9					
CM-3	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2428.28	6	305.2	109.0	307.52	109.83	14.3	205.88	1
CM-4	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2422.78	3	282.1	100.8					
CM-5	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2421.14	5	282.3	100.8					
CM-6	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2419.85	5	281.0	100.4	281.81	100.65	-11.4	128.98	2
CM-7	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2423.15	3	286.5	102.3					
CM-8	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2424.61	6	249.9	89.2					
CM-9	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2422.78	6	278.3	99.4	271.54	96.98	-21.6	467.94	3
CM-16	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2400.85	6	297.4	106.2					
CM-17	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2412.33	3	296.5	105.9					
CM-18	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2446.22	2	289.8	103.5	294.55	105.20	1.4	1.90	4
CM-19	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2418.28	5	305.7	109.2					
CM-20	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2401.57	5	307.5	109.8					
CM-21	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2427.82	5	318.1	113.6	310.42	110.86	17.2	297.53	5
Suma											1465.84	Suma		1102.2362	

Promedio 293.17 kg/cm²

Desviación Estándar = 16.60 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 5.66 %

TABLA N° 5.14: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



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



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				RESULTADOS DE LABORATORIO							DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BM-1	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2421.07	5	389.8	139.2					
BM-2	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2411.95	5	391.5	139.8					
BM-3	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2419.49	5	397.2	141.9	392.8	140.3	-5.1	25.6	1
BM-4	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2445.30	5	407.9	145.7					
BM-5	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2434.87	4	403.7	144.2					
BM-6	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2471.34	5	402.5	143.7	404.7	144.5	6.8	46.4	2
BM-7	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2429.47	5	373.1	133.3					
BM-8	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2459.92	5	384.0	137.1					
BM-9	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2438.53	5	392.5	140.2	383.2	136.9	-14.7	215.3	3
BM-10	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2410.88	5	396.8	141.7					
BM-11	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2439.04	4	355.5	127.0					
BM-12	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2408.84	5	395.3	141.2	382.5	136.6	-15.3	235.2	4
BM-28	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2438.16	5	418.3	149.4					
BM-29	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2426.26	5	371.9	132.8					
BM-30	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2436.52	2	412.8	147.4	401.0	143.2	3.1	9.9	5
BM-31	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2443.47	2	422.8	151.0					
BM-32	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2444.02	5	421.1	150.4					
BM-33	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2439.26	5	425.1	151.8	423.0	151.1	25.1	630.5	6
Suma											2387.2	Suma		1162.9	

Promedio = 397.87 kg/cm²

Desviación Estándar = 15.25 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 3.83 %

TABLA N° 5.15: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro 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

PROYECTO :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE :

MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS



CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
AM-13	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2437.98	5	415.1	148.2					
AM-14	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2439.26	5	463.6	165.6					
AM-15	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2421.62	5	455.5	162.7	444.7	158.8	9.4	88.0	1
AM-16	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2419.49	5	444.6	158.8					
AM-17	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2403.94	3	473.0	168.9					
AM-18	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2447.87	5	409.3	146.2	442.3	158.0	6.9	47.9	2
AM-31	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2437.61	4	409.0	146.1					
AM-32	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2434.32	4	425.8	152.1					
AM-33	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2436.70	4	432.8	154.6	422.5	150.9	-12.8	164.0	3
AM-34	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2430.11	5	431.4	154.1					
AM-35	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2407.87	4	421.6	150.6					
AM-36	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2426.36	4	442.5	158.1	431.8	154.2	-3.5	12.3	4
Suma Total											1741.4		Suma Total	312.2	

Promedio = 435.34 kg/cm²

Desviación Estándar = 10.20 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 2.34 %

TABLA N° 5.16: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				RESULTADOS DE LABORATORIO							DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR					
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)	
CM-10	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2434.32	5	279.2	99.7						
CM-11	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2430.11	5	278.1	99.3						
CM-12	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2424.25	6	290.8	103.8	282.67	100.95	6.8	46.91	1	
CM-13	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2422.23	6	258.9	92.5						
CM-14	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2427.18	6	285.9	102.1						
CM-15	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2423.15	5	262.1	93.6	268.97	96.06	-6.9	46.93	2	
											Suma	551.64		Suma	93.8416	

Promedio = 275.82 kg/cm²

Desviación Estándar = 9.69 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 3.51 %

TABLA N° 5.17: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROYECTO :
SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BM-13	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2411.11	5	428.0	152.8					
BM-14	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2445.34	2	404.9	144.6					
BM-15	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2379.05	6	399.5	142.7	410.8	146.7	32.0	1021.4	1
BM-16	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2396.16	5	385.3	137.6					
BM-17	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2433.12	5	399.5	142.7					
BM-18	18/09/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2443.47	6	390.2	139.3	391.7	139.9	12.8	164.6	2
BM-19	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2436.88	5	386.9	138.2					
BM-20	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2432.12	5	376.3	134.4					
BM-21	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2433.22	5	366.3	130.8	376.5	134.5	-2.3	5.4	3
BM-22	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2434.87	5	389.0	138.9					
BM-23	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2433.22	2	420.2	150.1					
BM-24	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2429.01	5	401.4	143.4	403.5	144.1	24.7	609.1	4
BM-25	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2432.30	5	397.6	142.0					
BM-26	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2433.04	2	413.4	147.6					
BM-27	18/09/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2425.90	5	386.9	138.2	399.3	142.6	20.5	419.9	5
BM-43	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2421.10	5	339.4	121.2					
BM-44	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2441.22	5	333.1	119.0					
BM-45	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2394.62	5	345.4	123.3	339.3	121.2	-39.5	1561.7	6
BM-46	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2429.56	5	353.0	126.1					
BM-47	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2386.35	5	339.2	121.2					
BM-48	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2394.08	6	355.4	126.9	349.2	124.7	-29.6	877.8	7
BM-49	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2395.89	5	370.4	132.3					
BM-50	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2385.90	5	355.4	126.9					
BM-51	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2432.67	5	365.9	130.7	363.9	130.0	-14.9	222.8	8
									suma		3034.2		Suma	4882.6	



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro 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



PROYECTO :
SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)		
BM-52	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2440.36	5	382.6	136.7							
BM-53	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2431.39	5	369.3	131.9							
BM-54	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	9	2432.85	5	375.7	134.2	375.9	134.2	-3.0	8.8	9		
BM-55	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	10	2439.63	5	382.7	136.7							
BM-56	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	10	2439.26	5	386.9	138.2							
BM-57	30/08/2011	27/08/2011	28	280	0.48	10	2428.64	5	362.9	129.6	377.5	134.8	-1.3	1.7	10		
BM-58	31/08/2011	28/08/2011	28	280	0.48	10	2445.49	5	387.4	138.3							
BM-59	31/08/2011	28/08/2011	28	280	0.48	10	2431.02	5	375.8	134.2							
BM-60	31/08/2011	28/08/2011	28	280	0.48	10	2432.30	5	375.5	134.1	379.6	135.6	0.7	0.5	11		
											Suma	1132.9			Suma	11.0	
											Suma Total	4167.1			Suma Total	4893.6	

Promedio = 378.83 kg/cm²

Desviación Estándar = 22.12 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 5.84 %

TABLA N° 5.18: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



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

PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS



CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
AM-1	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2450.41	2	477.8	170.6					
AM-2	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2445.63	5	465.8	166.3					
AM-3	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2443.98	5	426.9	152.5	456.8	163.1	17.1	292.4	1
AM-4	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2442.37	5	467.1	166.8					
AM-5	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2452.44	5	471.5	168.4					
AM-6	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2395.26	5	458.2	163.7	465.6	166.3	25.9	671.0	2
AM-7	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2401.31	3	463.5	165.5					
AM-8	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2446.95	5	461.2	164.7					
AM-9	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2441.28	3	471.3	168.3	465.3	166.2	25.6	656.3	3
AM-10	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2432.30	5	442.5	158.0					
AM-11	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2441.64	3	491.8	175.6					
AM-12	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2396.88	3	426.9	152.5	453.7	162.0	14.0	196.0	4
AM-19	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2441.78	5	420.9	150.3					
AM-20	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2423.63	6	428.6	153.1					
AM-21	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2444.57	6	450.4	160.8	433.3	154.7	-6.4	41.3	5
AM-22	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2436.88	5	466.2	166.5					
AM-23	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2415.94	3	455.5	162.7					
AM-24	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2437.25	5	430.1	153.6	450.6	160.9	10.9	118.3	6
AM-25	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2423.70	5	417.4	149.1					
AM-26	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2404.02	5	418.7	149.5					
AM-27	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2428.64	5	410.2	146.5	415.4	148.4	-24.3	590.0	7
AM-28	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2421.50	5	423.7	151.3					
AM-29	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2432.67	5	408.9	146.0					
AM-30	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2442.14	5	405.0	144.6	412.5	147.3	-27.2	738.9	8
Suma											3553.4	Suma		3304.2	



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



PROYECTO :
SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
Nº	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
AM-37	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2441.09	2	406.2	145.1					
AM-38	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2432.12	2	445.3	159.0					
AM-39	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2439.99	2	432.8	154.6	428.1	152.9	-11.6	134.6	9
AM-40	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2421.62	4	448.1	160.0					
AM-41	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2424.90	5	442.5	158.1					
AM-42	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2432.67	5	399.3	142.6	430.0	153.6	-9.7	94.9	10
AM-43	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2433.22	4	446.7	159.5					
AM-44	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2432.49	5	442.5	158.1					
AM-45	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2431.94	5	421.6	150.6	437.0	156.1	-2.8	7.6	11
AM-46	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2435.97	4	459.3	164.0					
AM-47	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2428.64	4	450.9	161.0					
AM-48	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2434.50	2	453.7	162.0	454.6	162.4	14.9	222.7	12
AM-49	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2405.76	5	423.0	151.1					
AM-50	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2435.60	4	469.1	167.5					
AM-51	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2433.22	4	450.9	161.0	447.7	159.9	7.9	63.1	13
AM-52	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2433.77	4	431.4	154.1					
AM-53	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2431.21	2	442.5	158.1					
AM-54	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2434.68	3	418.8	149.6	430.9	153.9	-8.8	77.6	14
AM-55	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2408.50	2	432.8	154.6					
AM-56	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2437.43	3	378.3	135.1					
AM-57	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2443.29	3	406.2	145.1	405.8	144.9	-33.9	1151.9	15
AM-58	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2436.33	3	443.9	158.5					
AM-59	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2449.33	2	464.9	166.0					
AM-60	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2446.04	4	435.6	155.6	448.1	160.0	8.4	70.7	16
Suma											3482.2	Suma		1823.1	



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro 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



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR					
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)	
											Suma Total	7035.5			Suma Total	1823.1

Promedio = 439.72 kg/cm²

Desviación Estándar = 11.02 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 2.51 %

TABLA N° 5.19: CILINDROS ELABORADOS CON EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.46



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



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				RESULTADOS DE LABORATORIO							DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BM-34	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2385.31	5	373.5	133.4					
BM-35	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2431.39	5	375.9	134.2					
BM-36	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2417.24	5	389.9	139.3	379.8	135.6	1.5	2.4	1
BM-37	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2399.50	5	376.3	134.4					
BM-38	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2414.68	5	386.0	137.8					
BM-39	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2386.49	5	352.0	125.7	371.4	132.7	-6.8	46.3	2
BM-40	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2435.97	5	371.9	132.8					
BM-41	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2389.56	3	343.7	122.8					
BM-42	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2405.04	3	362.2	129.4	359.3	128.3	-19.0	359.3	3
Suma											1110.5		Suma	408.1	

Promedio = 370.17 kg/cm²

Desviación Estándar = 14.28 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 3.86 %

TABLA N° 5.20: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



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*



PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
CV-1	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2403.37	6	283.4	101.2					
CV-2	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2388.00	5	249.7	89.2					
CV-3	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	9	2379.58	5	238.7	85.3	257.26	91.88	-16.1	260.64	1
CV-4	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2401.73	5	268.9	96.0					
CV-5	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2411.43	6	278.2	99.4					
CV-6	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2392.94	5	280.5	100.2	275.89	98.53	2.5	6.19	2
CV-7	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2406.29	5	282.7	101.0					
CV-8	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2403.19	5	290.5	103.7					
CV-9	31/08/2011	07/09/2011	7	280	0.47	8	2390.38	6	278.8	99.6	283.99	101.43	10.6	112.04	3
CV-16	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2354.38	5	277.8	99.2					
CV-17	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2380.12	3	272.1	97.2					
CV-18	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	8	2349.40	2	282.9	101.0	277.62	99.15	4.2	17.73	4
CV-19	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2341.59	2	268.5	95.9					
CV-20	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2341.69	2	275.7	98.5					
CV-21	07/09/2011	14/09/2011	7	280	0.47	9	2411.80	5	272.5	97.3	272.27	97.24	-1.1	1.30	5
Suma											1367.03		Suma	397.9056	

Promedio 273.41 kg/cm²

Desviación Estándar = 9.97 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 3.65 %

TABLA N° 5.21: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BV-1	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2407.20	5	385.5	137.7					
BV-2	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2399.16	5	387.8	138.5					
BV-3	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2371.49	5	391.3	139.7	388.2	138.6	0.3	0.1	1
BV-4	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2353.82	5	365.5	130.5					
BV-5	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2425.53	5	390.1	139.3					
BV-6	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	8	2385.77	4	392.5	140.2	382.7	136.7	-5.2	27.2	2
BV-7	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2375.09	4	367.3	131.2					
BV-8	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2375.63	5	322.1	115.0					
BV-9	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2414.55	6	366.9	131.0	352.1	125.7	-35.8	1281.1	3
BV-10	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2408.14	6	366.0	130.7					
BV-11	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2368.79	5	382.1	136.5					
BV-12	16/08/2011	13/09/2011	28	280	0.47	9	2407.59	5	372.6	133.1	373.6	133.4	-14.3	205.3	4
BV-28	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2382.14	6	423.9	151.4					
BV-29	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2414.36	5	406.6	145.2					
BV-30	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	9	2405.02	5	396.3	141.5	408.9	146.1	21.1	443.3	5
BV-31	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2423.15	5	448.5	160.2					
BV-32	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2395.69	5	393.3	140.5					
BV-33	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.47	8	2416.19	5	423.9	151.4	421.9	150.7	34.0	1156.7	6
Suma											2327.4		Suma	3113.7	

Promedio = 387.89 kg/cm²

Desviación Estándar = 24.95 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 6.43 %

TABLA N° 5.22: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.47



**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*



PROYECTO :
SOLICITANTE :

**TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS**

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
AV-13	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2421.20	3	414.6	148.1					
AV-14	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2410.70	3	402.1	143.6					
AV-15	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.47	8	2416.74	4	402.1	143.6	406.2	145.1	-26.4	697.2	1
AV-16	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2410.33	2	424.4	151.6					
AV-17	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2423.15	2	414.6	148.1					
AV-18	08/08/2011	04/10/2011	56	280	0.47	8	2418.39	2	402.1	143.6	413.7	147.7	-19.0	359.4	2
AV-31	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2428.64	3	450.9	161.0					
AV-32	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2399.90	3	443.9	158.5					
AV-33	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2423.15	4	459.3	164.0	451.4	161.2	18.7	351.0	3
AV-34	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2414.73	2	453.7	162.0					
AV-35	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2421.62	5	457.9	163.5					
AV-36	09/08/2011	06/10/2011	56	280	0.47	8	2418.39	2	466.3	166.5	459.3	164.0	26.6	710.0	4
Suma Total											1730.6		Suma Total	2117.5	

Promedio = 432.65 kg/cm²

Desviación Estándar = 26.57 kg/cm²
Coefficiente de Variación = 6.14 %

TABLA N° 5.23: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



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*



PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)		
CV-10	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2376.46	5	245.4	87.7							
CV-11	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2380.12	5	228.7	81.7							
CV-12	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2384.70	5	245.0	87.5	239.73	85.62	-16.4	269.06	1		
CV-13	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2389.50	5	282.8	101.0							
CV-14	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2402.10	5	253.1	90.4							
CV-15	01/09/2011	08/09/2011	7	280	0.48	10	2409.97	6	281.6	100.6	272.52	97.33	16.4	268.78	2		
											Suma	512.25			Suma	537.8384	

Promedio = 256.13 kg/cm²

Desviación Estándar = 23.19 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 9.05 %

TABLA N° 5.24: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



PROYECTO :
SOLICITANTE :

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCCY

*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*



TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BV-13	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2374.21	5	399.5	142.7					
BV-14	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2367.53	3	404.0	144.3					
BV-15	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2366.09	5	386.3	137.9	396.6	141.6	32.2	1038.3	1
BV-16	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2352.52	2	331.6	118.4					
BV-17	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2380.12	2	331.4	118.4					
BV-18	18/08/2011	14/09/2011	28	280	0.48	10	2356.18	6	338.3	120.8	333.8	119.2	-30.6	935.0	2
BV-19	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2404.11	5	394.6	140.9					
BV-20	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2403.93	5	389.8	139.2					
BV-21	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2416.74	4	400.4	143.0	394.9	141.1	30.6	935.6	3
BV-22	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2391.66	6	403.6	144.2					
BV-23	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2414.91	5	414.0	147.8					
BV-24	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2391.11	5	393.7	140.6	403.8	144.2	39.4	1551.7	4
BV-25	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2407.59	5	388.7	138.8					
BV-26	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2402.83	6	382.5	136.6					
BV-27	18/08/2011	16/09/2011	28	280	0.48	9	2395.50	5	350.7	125.3	374.0	133.6	9.6	92.0	5
BV-43	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2382.20	5	301.3	107.6					
BV-44	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2391.87	3	308.2	110.1					
BV-45	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	9	2409.42	6	311.0	111.1	306.8	109.6	-57.5	3308.9	6
BV-46	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2364.27	6	363.5	129.8					
BV-47	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2401.00	5	392.7	140.3					
BV-48	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.48	10	2303.38	3	347.8	124.2	368.0	131.4	3.6	13.3	7
BV-49	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2307.71	5	361.8	129.2					
BV-50	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2407.59	5	394.1	140.7					
BV-51	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2387.08	5	301.4	107.6	352.4	125.9	-11.9	142.5	8
Suma											2930.3	Suma		8017.3	



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO							DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR					
Nº	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)		
BV-52	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2368.42	3	347.6	124.1							
BV-53	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2446.10	5	350.5	125.2							
BV-54	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	9	2289.28	5	349.5	124.8	349.2	124.7	-15.2	230.2	9		
BV-55	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	10	2409.42	5	410.2	146.5							
BV-56	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	10	2380.12	5	374.0	133.6							
BV-57	30/08/2011	27/09/2011	28	280	0.48	10	2378.84	3	343.8	122.8	376.0	134.3	11.6	134.9	10		
BV-58	31/08/2011	28/09/2011	28	280	0.48	10	2368.42	5	353.0	126.1							
BV-59	31/08/2011	28/09/2011	28	280	0.48	10	2390.05	5	362.6	129.5							
BV-60	31/08/2011	28/09/2011	28	280	0.48	10	2360.14	3	341.9	122.1	352.5	125.9	-11.9	140.6	11		
											Suma =	1077.7			Suma =	505.7	
											Suma Total =	4007.9			Suma Total =	8523.0	

Promedio = 364.36 kg/cm²

Desviación Estándar = 29.19 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 8.01 %

TABLA N° 5.25: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 56 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.48



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*



PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ³)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
AV-1	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2418.52	3	446.7	159.5					
AV-2	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2410.85	2	431.4	154.1					
AV-3	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2410.88	2	411.8	147.1	430.0	153.6	5.7	32.9	1
AV-4	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2407.95	4	411.8	147.1					
AV-5	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2408.69	2	409.0	146.1					
AV-6	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2384.46	3	412.5	147.3	411.1	146.8	-13.1	172.2	2
AV-7	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2429.38	4	457.9	163.5					
AV-8	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2443.06	2	416.0	148.6					
AV-9	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2417.42	2	438.4	156.6	437.4	156.2	13.2	173.8	3
AV-10	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2409.94	2	421.6	150.6					
AV-11	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2421.69	4	409.0	146.1					
AV-12	01/08/2011	27/09/2011	56	280	0.48	9	2423.52	2	419.3	149.7	416.6	148.8	-7.6	57.8	4
AV-19	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2438.35	2	415.3	148.3					
AV-20	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2412.31	2	410.4	146.6					
AV-21	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2416.38	3	432.8	154.6	419.5	149.8	-4.7	22.4	5
AV-22	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2398.07	3	417.4	149.1					
AV-23	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2402.64	3	427.2	152.6					
AV-24	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2431.66	2	415.1	148.2	419.9	150.0	-4.3	18.9	6
AV-25	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2412.31	2	395.1	141.1					
AV-26	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2410.52	3	391.1	139.7					
AV-27	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2418.21	4	399.3	142.6	395.2	141.1	-29.1	846.0	7
AV-28	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2419.12	4	397.9	142.1					
AV-29	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2403.73	2	395.1	141.1					
AV-30	08/08/2011	04/09/2011	56	280	0.48	9	2397.88	2	394.8	141.0	395.9	141.4	-28.3	801.9	8
Suma											3325.6		Suma	2126.0	



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro de Investigaciones ISCCY

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



PROYECTO :
SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR					
Nº	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)	
AV-37	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2419.49	3	423.0	151.1						
AV-38	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2401.18	3	418.8	149.6						
AV-39	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2402.64	3	424.4	151.6	422.1	150.7	-2.2	4.7	9	
AV-40	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2389.65	3	428.6	153.1						
AV-41	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2414.36	3	402.1	143.6						
AV-42	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	8	2416.56	3	420.2	150.1	416.9	148.9	-7.3	53.2	10	
AV-43	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2422.60	3	400.7	143.1						
AV-44	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2419.31	2	446.7	159.5						
AV-45	10/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2416.74	4	428.6	153.1	425.3	151.9	1.1	1.2	11	
AV-46	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2411.25	3	430.0	153.6						
AV-47	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2415.28	3	418.8	149.6						
AV-48	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2393.86	3	437.0	156.1	428.6	153.1	4.3	18.9	12	
AV-49	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2411.80	2	449.5	160.5						
AV-50	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2429.56	3	443.9	158.5						
AV-51	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	10	2430.47	4	462.1	165.0	451.8	161.4	27.6	4455.5	13	
AV-52	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2414.55	3	443.9	158.5						
AV-53	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2418.02	3	456.5	163.0						
AV-54	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2418.02	3	459.3	164.0	453.2	161.9	29.0	4695.3	14	
AV-55	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2408.14	3	420.2	150.1						
AV-56	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2420.77	3	425.8	152.1						
AV-57	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2428.64	3	459.3	164.0	435.1	155.4	10.9	1687.2	15	
AV-58	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2429.38	3	424.4	151.6						
AV-59	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2421.69	3	431.4	154.1						
AV-60	11/08/2011	06/10/2011	56	280	0.48	9	2425.53	3	431.4	154.1	429.0	153.2	4.8	736.7	16	
Suma											3462.2			Suma	11652.7	



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROYECTO :
 SOLICITANTE :

TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
Suma Total											6787.8	Suma Total		13778.7	

Promedio = 424.24 kg/cm²

Desviación Estándar = 30.31 kg/cm²
 Coeficiente de Variación = 7.14 %

TABLA N° 5.26: CILINDROS ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA ENSAYADOS A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS RELACIÓN A/C = 0.46



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



PROYECTO TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTES: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					RESULTADOS DE LABORATORIO						DATOS PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
N°	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Edad (días)	f'c	a/c	Tiempo Vebe (s)	Peso Volumétrico (kg/cm ²)	Tipo de falla	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Ganancia (%)	Esfuerzo promedio de tres cilindros	Ganancia promedio de tres cilindros	(Xi-Xprom)	(Xi-Xprom) ²	Número de cilindros (promedio de 3)
BV-34	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2392.03	5	337.8	120.6					
BV-35	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2355.41	5	261.4	93.4					
BV-36	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2364.29	5	335.2	119.7	311.5	111.2	-38.1	1449.3	1
BV-37	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2405.21	5	334.5	119.5					
BV-38	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2405.21	5	360.7	128.8					
BV-39	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	8	2395.50	5	361.6	129.1	352.3	125.8	2.7	7.5	2
BV-40	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2366.98	5	367.4	131.2					
BV-41	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2360.11	5	351.9	125.7					
BV-42	29/08/2011	26/09/2011	28	280	0.46	9	2381.11	5	354.6	126.7	358.0	127.8	8.5	71.5	3
Suma											1021.7		Suma	1528.4	

Promedio = 340.56 kg/cm²

Desviación Estándar = 27.64 kg/cm²
Coeficiente de Variación = 8.12 %

Cartas de Control de Calidad

Estas cartas de control de calidad han sido usadas por muchos años como una ayuda en la reducción de la variabilidad y el incremento de la eficiencia en la producción. Tres cartas simplificadas, preparadas específicamente para el control del concreto son mostradas en la figura N° 5.25 y se describen a continuación.

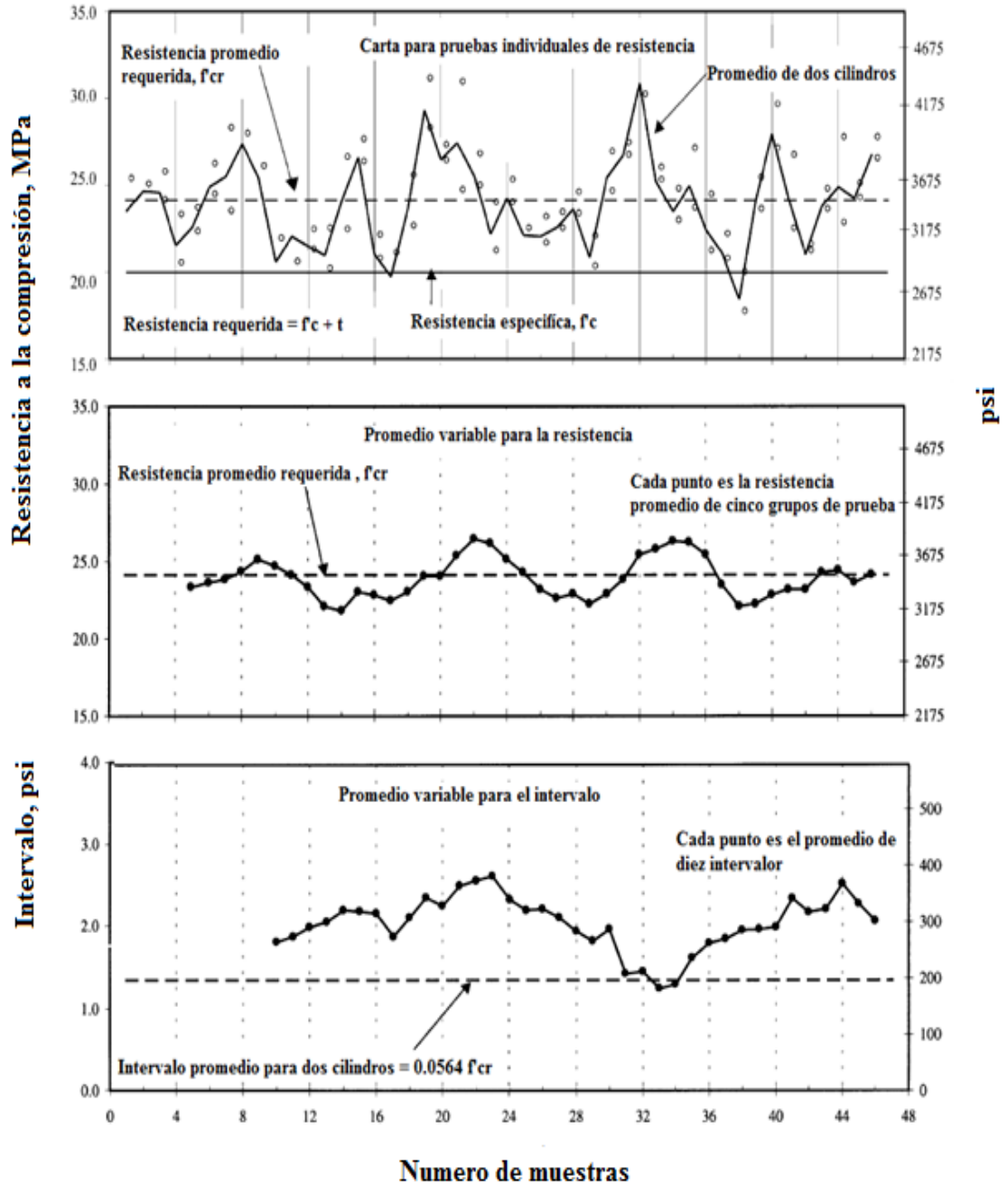
- (a) **Una carta en la cual los resultados de todos los ensayos de resistencia individuales son ploteados.** La línea para la resistencia promedio requerida es establecida. y la resistencia de diseño especificada.
- (b) **Promedio variable para la resistencia a la compresión;** el promedio se traza para los cinco grupos de pruebas de dos cilindros compañeros para cada día. Esta carta es de mucha importancia ya que indica las tendencias y demuestra la influencia de cambios estacionales, de cambios en materiales, sobre la resistencia del concreto.
- (c) **Promedio variable para un intervalo,** se muestra que cada punto es el promedio de diez intervalos de cilindros compañeros y es graficado por cada día.

Para esta investigación se empleo la primera carta de calidad en la cual los resultados de todos los ensayos de resistencias a las compresiones individuales (mostrados en las tablas N° 5.13 a la N° 5.26) son ploteados. La línea para la resistencia de diseño

especifica tiene un valor de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, y también se muestran la resistencia promedio de todos los datos para cada edad.

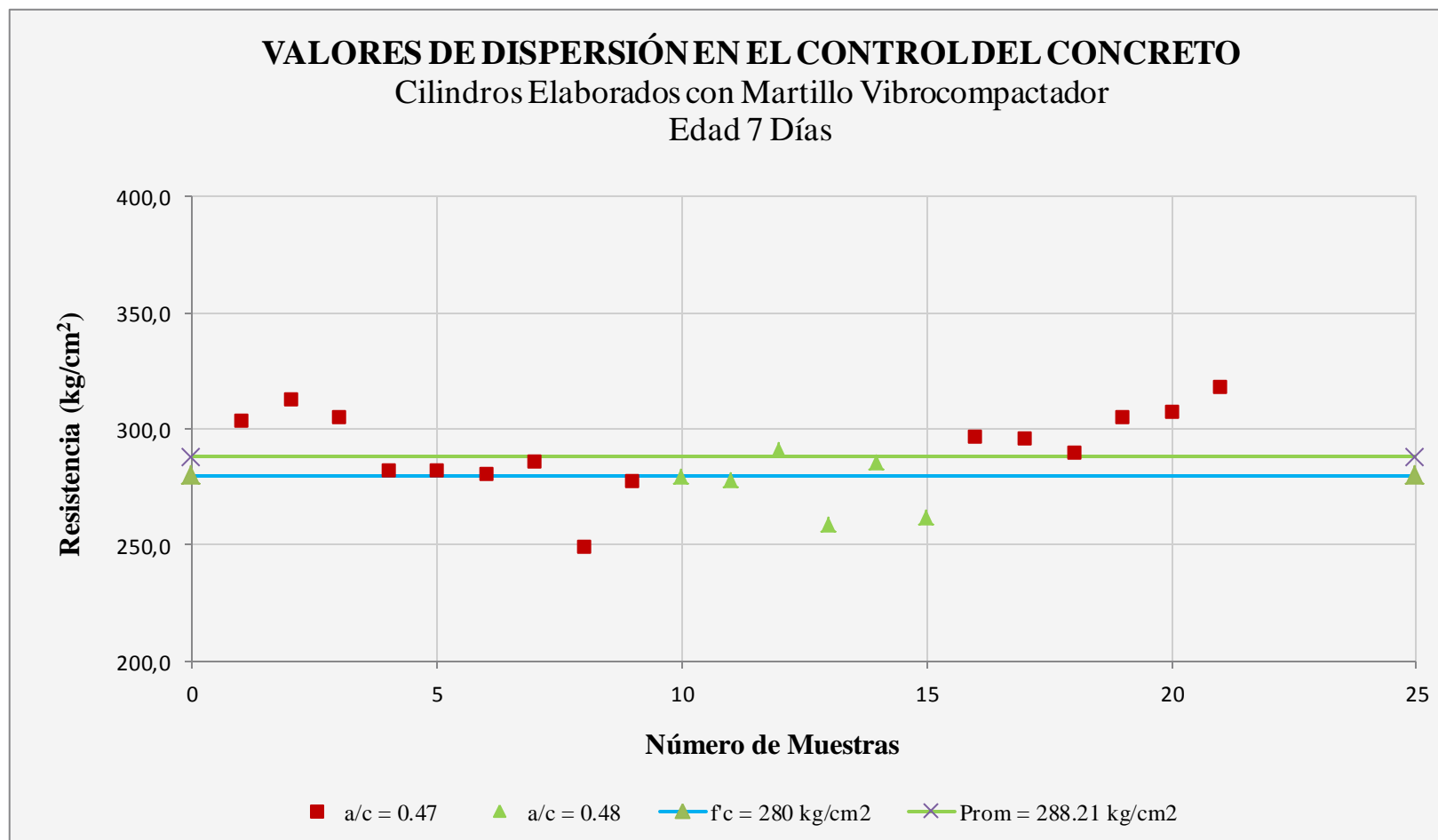
Ploteados estos valores, se obtiene los gráficos de las cartas de calidad mostrados en la figura N° 5.26 a la figura N° 5.31, estas graficas se presentan por separado para las dos metodologías de moldeo de cilindros, a sus respectivas edades de ensayo de ruptura.

FIGURA N° 5.25: CARTAS DE CALIDAD (a), (b) Y (c) PARA CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO



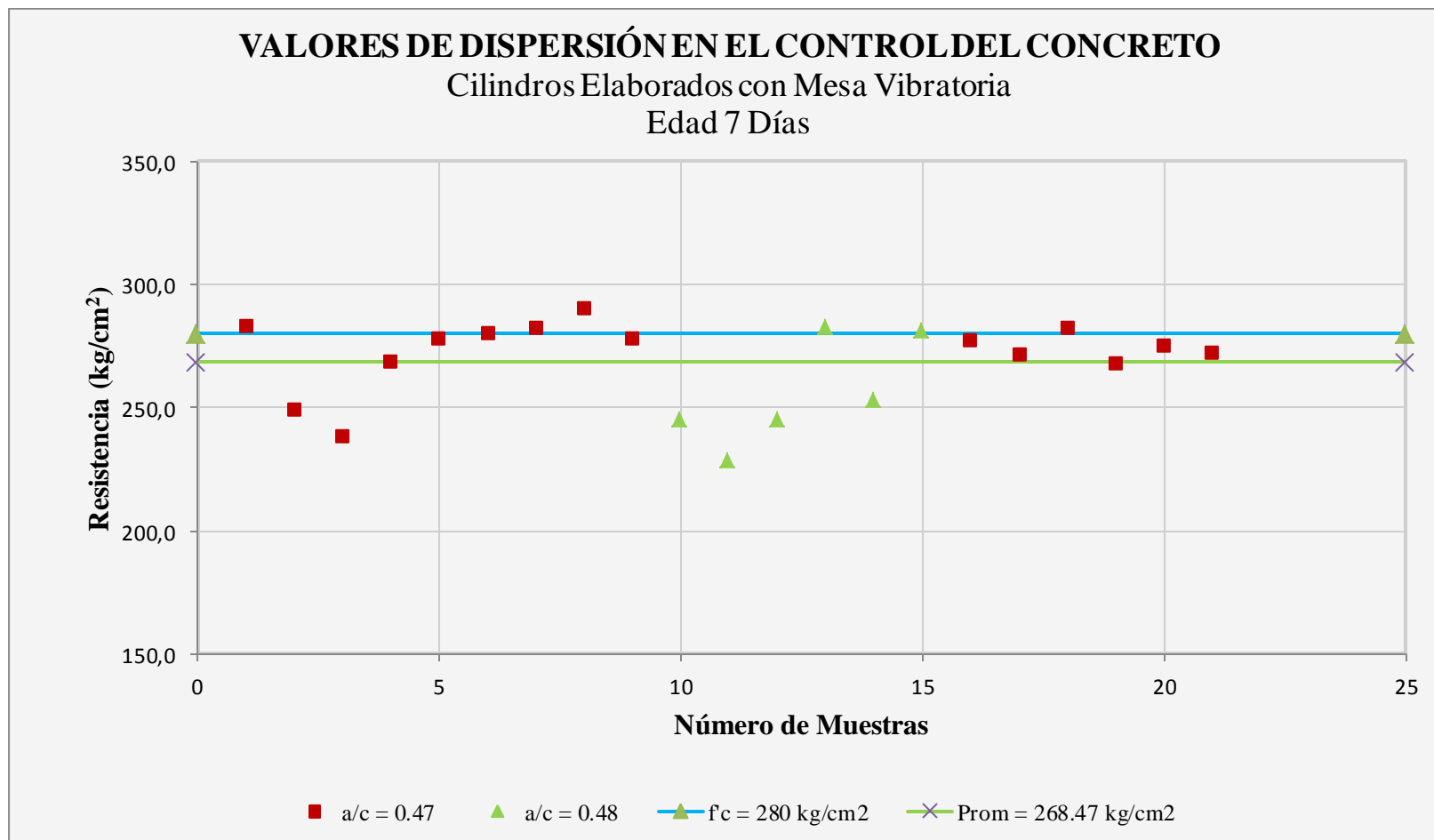
Fuente: Comité ACI 214R-02 "Evaluation of Strength Test Results of Concrete"

FIGURA N° 5.26: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 7 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y A/C = 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR



Fuente: los autores

FIGURA N° 5.27: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 7 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y A/C =0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA



Fuente: los autores

FIGURA N° 5.28: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 28 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.46, 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR

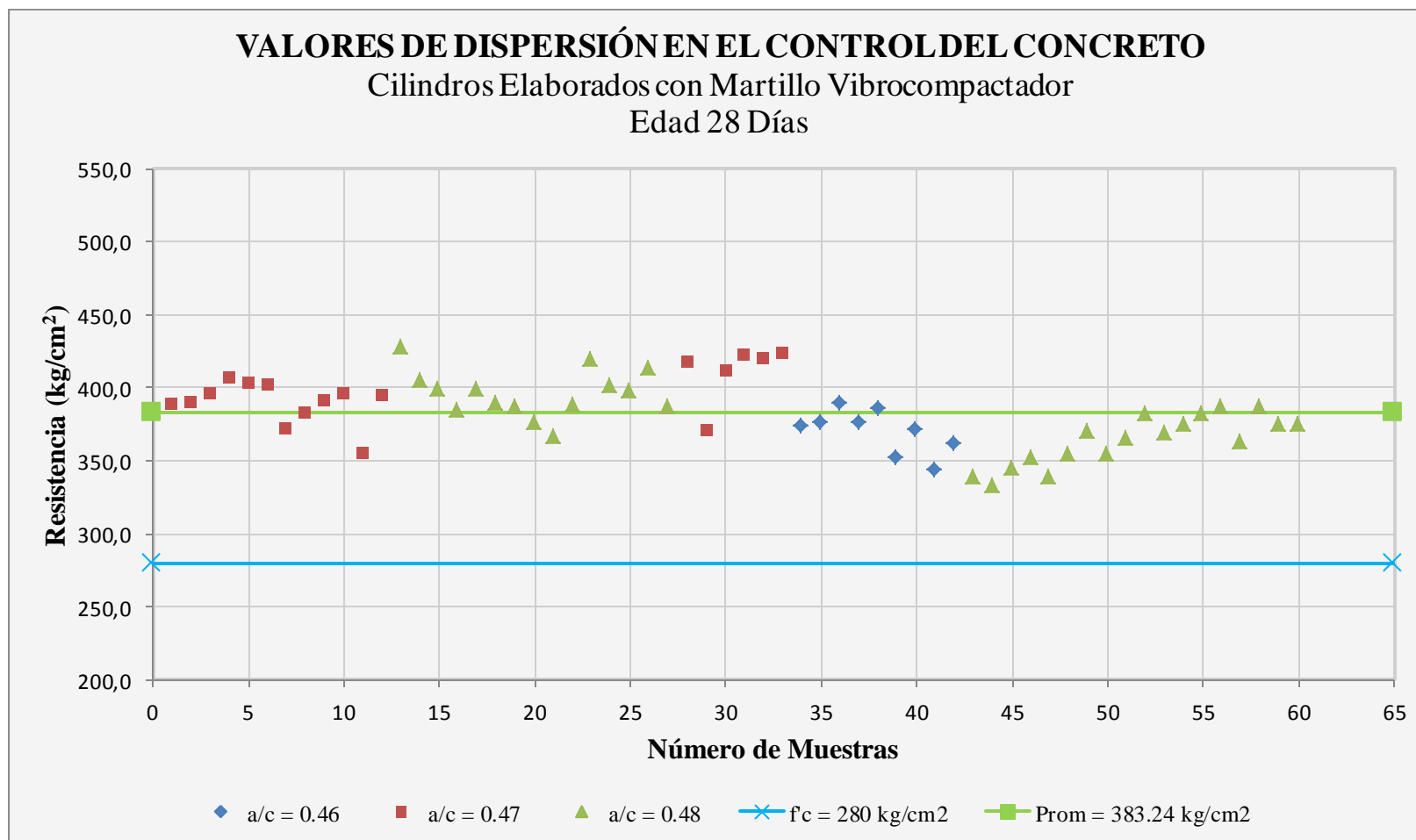
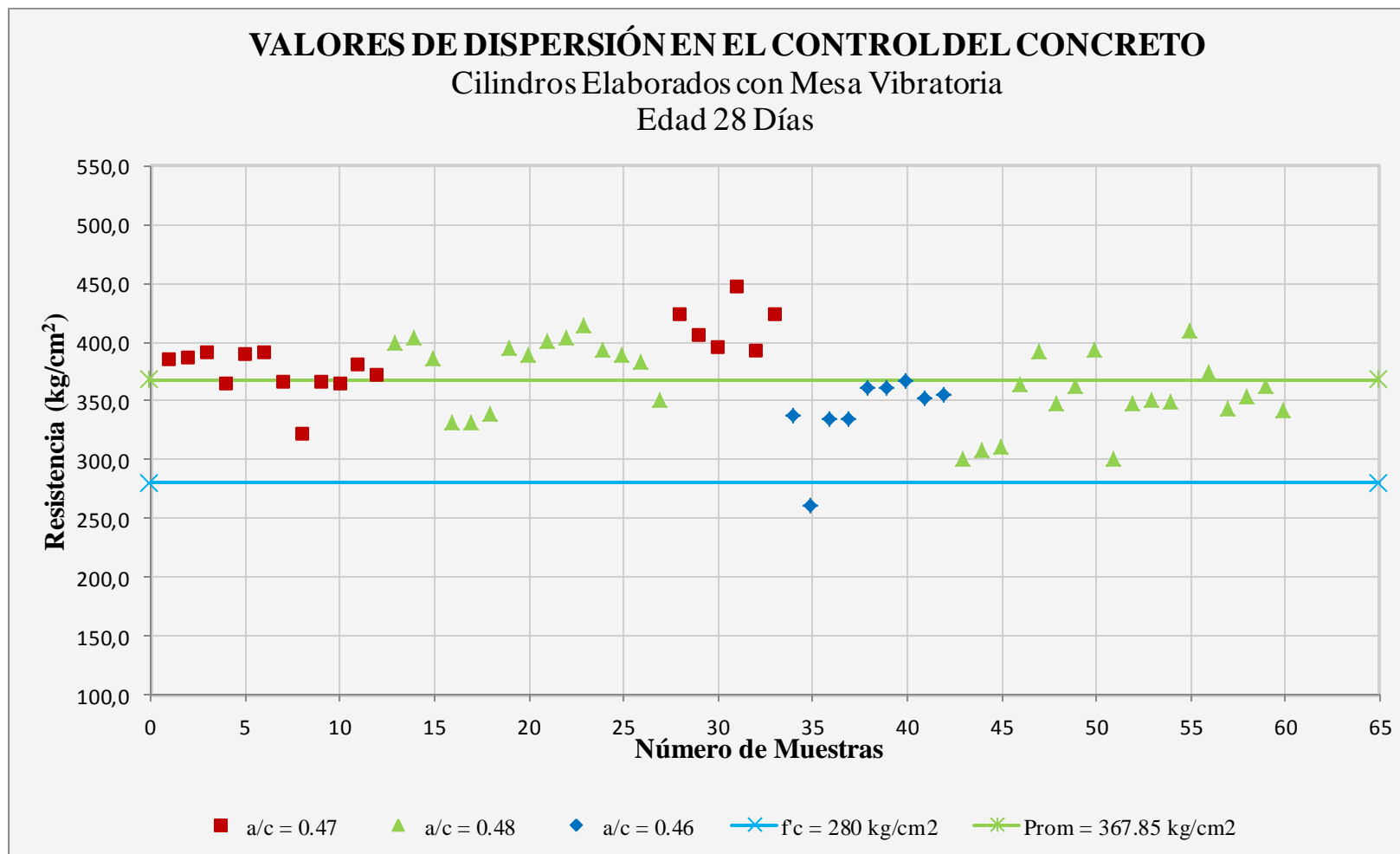


FIGURA N° 5.29: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 28 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.46, 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA



Fuente: los autores

FIGURA N° 5.30: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 56 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR

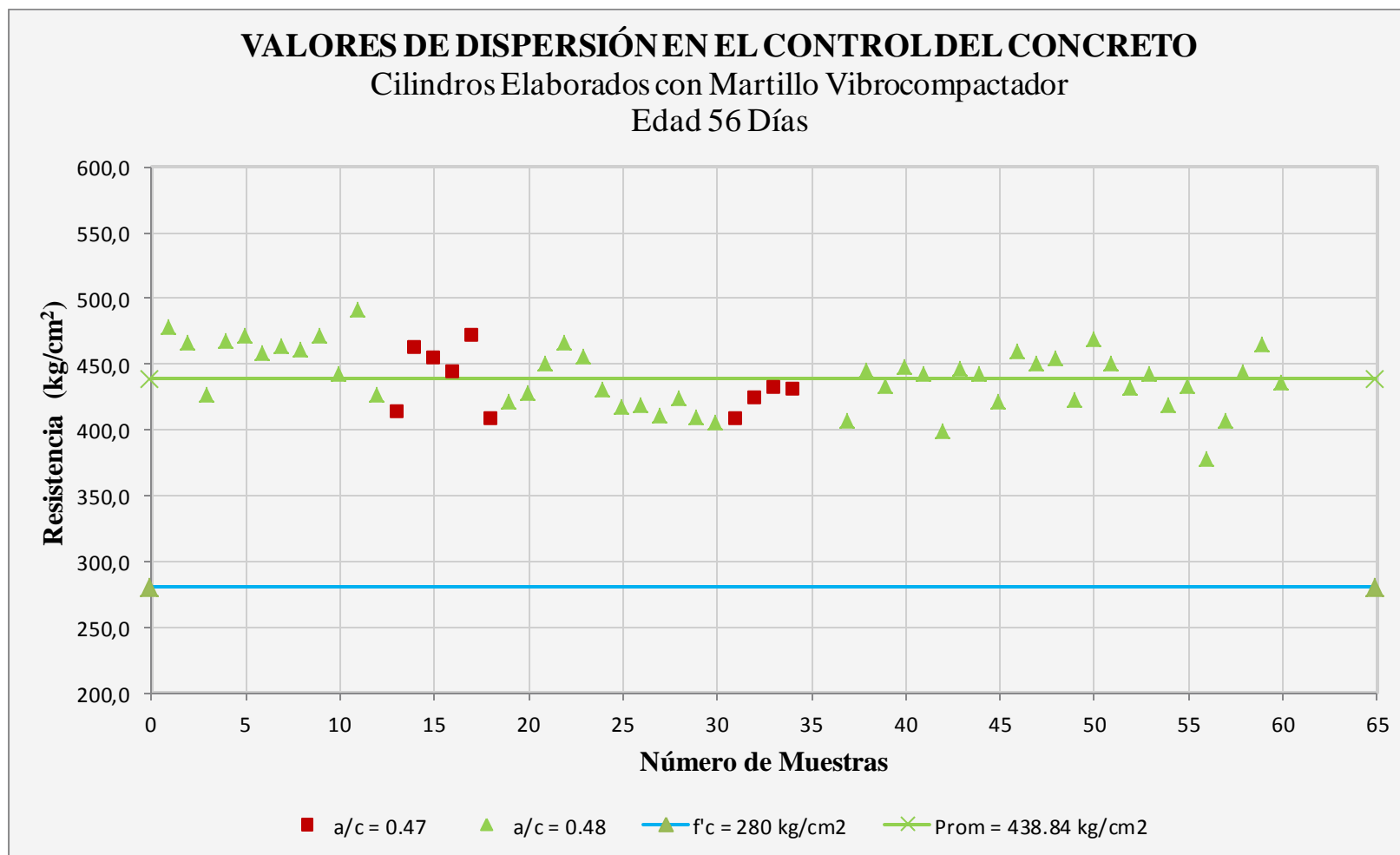
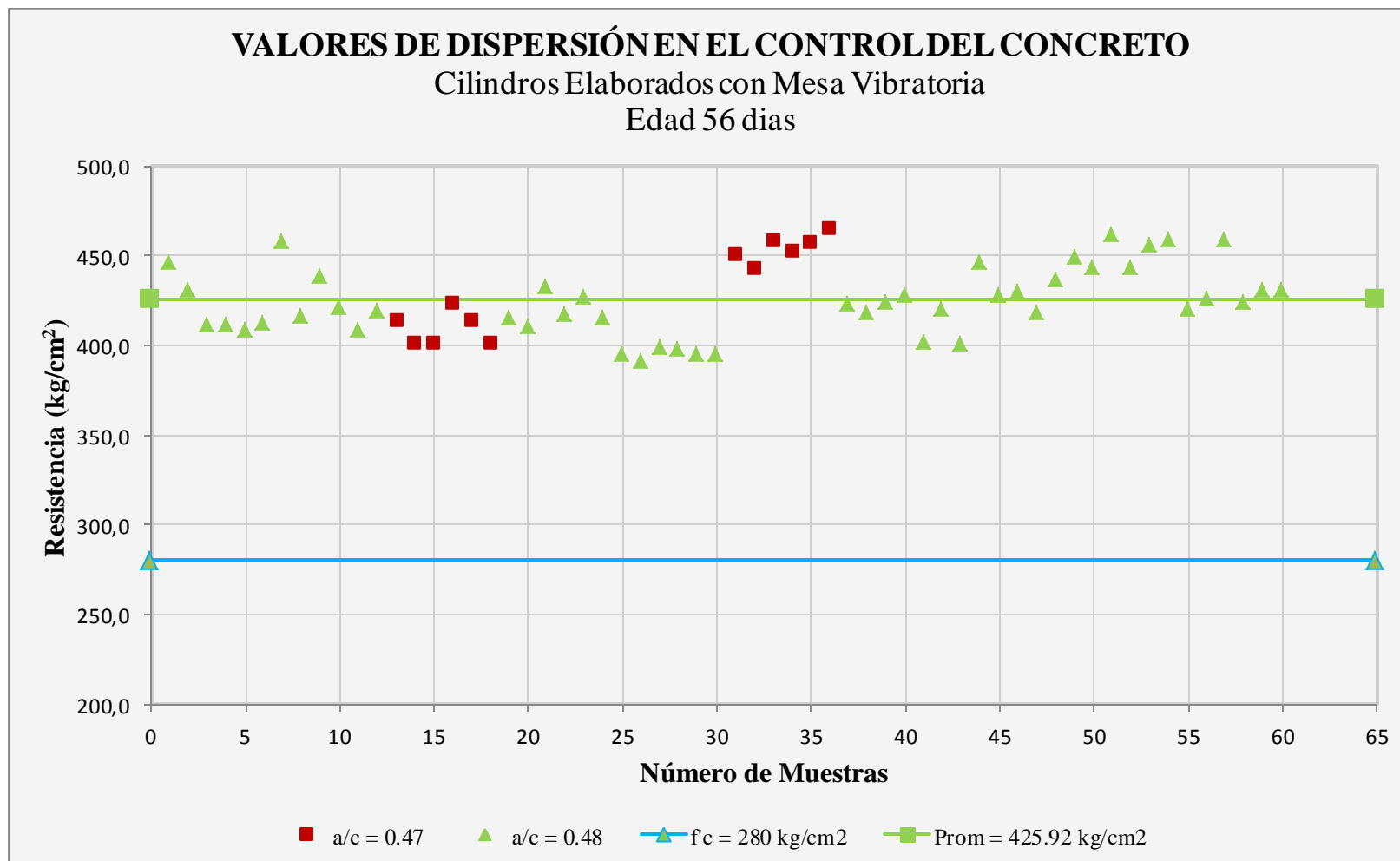


FIGURA N° 5.31: CARTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CCR A 56 DÍAS, PARA RELACIÓN A/C = 0.47 Y 0.48, CILINDROS MOLDEADOS CON MESA VIBRATORIA



Analizando las cartas de calidad, estas presentan una variabilidad significativa en resistencia debido a las diferentes relaciones a/c (0.46, 0.47 y 0.48) con las cuales se trabajo, por tal razón se hará el análisis estadístico separando los datos obtenidos de cada relación a/c, de esta manera obtener un solo grupo de resultados en similares condiciones para cada relación.

Debido a las diferentes relaciones agua-cemento obtenida en el diseño; de un total de 20 ensayos (promedio de 3 cilindros) a 28 días un 55 % corresponden a la relación a/c de 0.48, mientras que para una relación a/c de 0.47 existe un 30 % y para relación a/c de 0.46 un 15 % del total.

Para predecir la variabilidad existente entre los ensayos de resistencia, se toma en cuenta la Desviación Estándar, que permite a la vez indicar el grado de dispersión entre los resultados de resistencia a la compresión para un determinado f_c .

Para poder realizar el análisis estadístico se deben examinar las Tablas de resumen N° 5.13 a N° 5.26 que nos permita con mayor facilidad llegar a determinar las funciones que resultan útiles para este análisis, las cuales reflejan los promedios obtenidos para cada edad de ruptura (7, 28 y 56 días) con los cuales se obtuvieron las funciones estadísticas como la desviación estándar y la varianza, para la relación a/c de 0.46, 0.47 y 0.48.

Se hará el cálculo para la Tabla N° 5.13, con la finalidad de conocer el procedimiento a seguir para obtener las funciones antes mencionadas; que corresponden a los cilindros ensayados a 7 días y elaborados con el martillo Vibrocompactador.

Con los resultados, lo primero es calcular el promedio total de cilindros por edad y por método de llenado, haciendo uso de la Ecuación siguiente:

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)}{n} = \frac{1465.84}{5} = 293.17 \text{ kg cm}^2$$

Los valores necesarios para calcular la desviación estándar son: $(X_i - X_{prom})$, los cuales se calculan restando del promedio de tres cilindros, el promedio total de resistencias de la edad en estudio; el siguiente valor es $(X_i - X_{prom})^2$, determinándose del valor obtenido anteriormente elevándolo al cuadrado. Teniendo estos valores se procede a calcular la desviación estándar, para esta investigación estos valores han sido calculados y mostrados en la Tabla N° 5.20. Haciendo uso de la ecuación tenemos:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (X - X_{prom})^2}}{n - 1} = \frac{\sqrt{1102.2362}}{5 - 1} = 16.60 \text{ kg cm}^2$$

Con la desviación estándar (σ) y el promedio calculado (X_{prom}), el coeficiente de variación se calcula de la siguiente manera:

$$V = \frac{\sigma}{X_{prom}} \times 100 = \frac{16.60}{293.17} \times 100 = 5.66 \%$$

De igual forma se realiza el cálculo para las otras edades de ensayo y las dos metodologías de elaboración de especímenes cilíndricos. En las Tabla N° 5.27, N° 5.28 y N° 5.29 se presenta un resumen de los valores encontrados del análisis estadístico para cada edad y para las relaciones a/c en estudio.

TABLA N° 5.27: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR MÉTODO DE ELABORACIÓN PARA A/C = 0.47

Función estadística	Resultados de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador, por edad			Resultados de los cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria, por edad		
	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
Promedio (kg/cm²)	293.17	397.87	435.34	273.41	387.89	432.65
Desviación estándar (kg/cm²)	16.60	15.25	10.20	9.97	24.95	26.57
Varianza (%)	5.66	3.83	2.34	3.65	6.43	6.14

Fuente: los autores

TABLA N° 5.28: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR MÉTODO DE ELABORACIÓN PARA A/C = 0.48

Función estadística	Resultados de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador, por edad			Resultados de los cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria, por edad		
	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
Promedio (kg/cm²)	275.82	378.83	439.72	256.13	364.36	424.24
Desviación estándar (kg/cm²)	9.69	22.12	11.02	23.19	29.19	30.31
Varianza (%)	3.51	5.84	2.51	9.05	8.01	7.14

Fuente: Los autores

TABLA N° 5.29: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR EDAD Y POR MÉTODO DE ELABORACIÓN PARA A/C = 0.46

Función estadística	Resultados de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador, por edad	Resultados de los cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria, por edad
	28 días	28 días
Promedio (kg/cm²)	370.17	340.56
Desviación estándar (kg/cm²)	14.28	27.64
Varianza (%)	3.86	8.12

Fuente: Los autores

La desviación estándar calculada para cilindros ensayados a los 28 días con una relación a/c de 0.47 y elaborados por el método del Martillo Vibrocompactador es de 15.25 kg/cm², mientras que para el método de la Mesa vibratoria es de 24.95 kg/cm², comparando las desviaciones de ambos métodos se observa que para el equipo Vebe la desviación es mayor en un 60 % de la desviación que se obtienen con el martillo Vibro compactador. A la edad de 56 días la desviación estándar para los especímenes elaborados con el Martillo Vibrocompactador es de 10.20 kg/cm² y para la Mesa Vibratoria es de 26.57 kg/cm², se observa un incremento de 61 % en desviación estándar de los especímenes elaborados con la Mesa vibratoria.

La varianza obtenida con el Método del Martillo Vibrocompactador a los 28 días es de 3.83 % y para el método de la Mesa vibratoria es de 6.43 % por lo que se refleja un incremento de 3.40 % en la Mesa Vibratoria; para 56 días la varianza obtenida con el Martillo Vibrocompactador es de 2.34 % mientras que para la Mesa Vibratoria es de 6.14 %, reflejándose un incremento de 62 % en la varianza de la Mesa vibratoria con respecto al Martillo Vibrocompactador.

Cuando la relación a/c es de 0.48 se obtuvo una desviación estándar a los 28 días con el método del Martillo Vibrocompactador de 22.12 kg/cm² y en la Mesa Vibratoria es de 29.19 kg/cm² donde se tiene un incremento de 24 % de la desviación obtenida en la Mesa vibratoria sobre lo obtenido con el Martillo Vibrocompactador.

A los 56 días el comportamiento es similar, donde se obtuvo un incremento del 64 % de la desviación estándar en la Mesa vibratoria sobre el Martillo Vibrocompactador.

La varianza obtenida con el Método del Martillo Vibrocompactador a los 28 días es de 5.84 % y para el método de la Mesa vibratoria es de 8.01 % por lo que se refleja un incremento de 27 % en la Mesa Vibratoria; para 56 días la varianza obtenida con el Martillo Vibrocompactador es de 2.51 % mientras que para la Mesa Vibratoria es de 7.14 %, reflejándose un incremento de 65 % en la varianza de la Mesa vibratoria con respecto al Martillo Vibrocompactador.

Se obtuvieron valores de desviación estándar de 14.28 kg/cm² para los cilindros ensayados a 28 días, con una relación a/c de 0.46 elaborados con el Martillo Vibrocompactador y para los elaborados con la Mesa Vibratoria la desviación estándar es de 27.64 kg/cm², donde se obtuvo un incremento de 48% en la desviación estándar obtenida con la Mesa Vibratoria.

El coeficiente de variación obtenido con la metodología de la Mesa Vibratoria a la edad de 28 días es de 8.12 % y para el Martillo Vibrocompactador es de 3.86 % el incremento de la mesa vibratoria sobre el Martillo Vibrocompactador es de 52 %.

5.6 CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS.

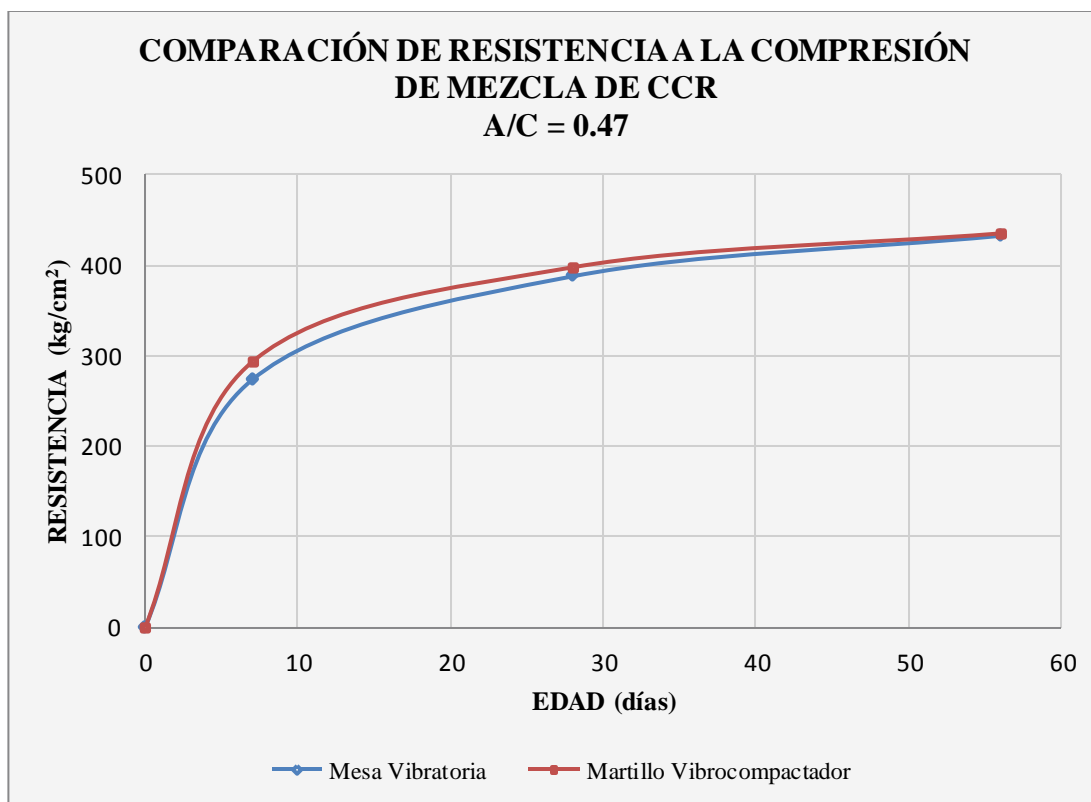
Las correlaciones que se desarrollaran en esta investigación son las que se encuentran definidas en la sección 3.3.8 de este documento, a continuación se detallan cada una de ellas.

5.6.1 CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA QUE TIENE CADA MÉTODO DE LLENADO DE CILINDROS EN LABORATORIO CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, NORMA ASTM C 1175 (MESA VIBRATORIA) Y ASTM C 1435 (MARTILLO VIBRO COMPACTADOR).

Graficando los promedios obtenidos de las resistencias a la compresión de cada metodología, para una relación a/c de 0.47; al inicio de la grafica mostrada en la figura N° 5.32, la ganancia de resistencia en el tiempo, se observa que existe una diferencia de un método con respecto con el otro a la edad 7 días del 7%, mientras que a los 28 días este porcentaje obtenido es del 3%.

A los 56 días, el grafico de correlación se estabiliza con valores promedios de resistencia a la compresión similares que son mostrados en la tabla N° 5.30, para el martillo Vibrocompactador se tiene un promedio de 435.47 kg/cm^2 , y para la mesa Vibratoria de 432.65 kg/cm^2 , no presentando variación entre los métodos en estudio.

FIGURA N° 5.32: GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE AMBOS MÉTODOS DE MOLDEO DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0,47



Fuente: Los autores

TABLA N° 5.30: PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE AMBOS MÉTODOS DE MOLDEO DE ESPECÍMENES PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0,47

RELACIÓN A/C = 0.47			
MESA VIBRATORIA		MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	
EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
7	273.41	7	293.17
28	387.89	28	397.87
56	432.65	56	435.34

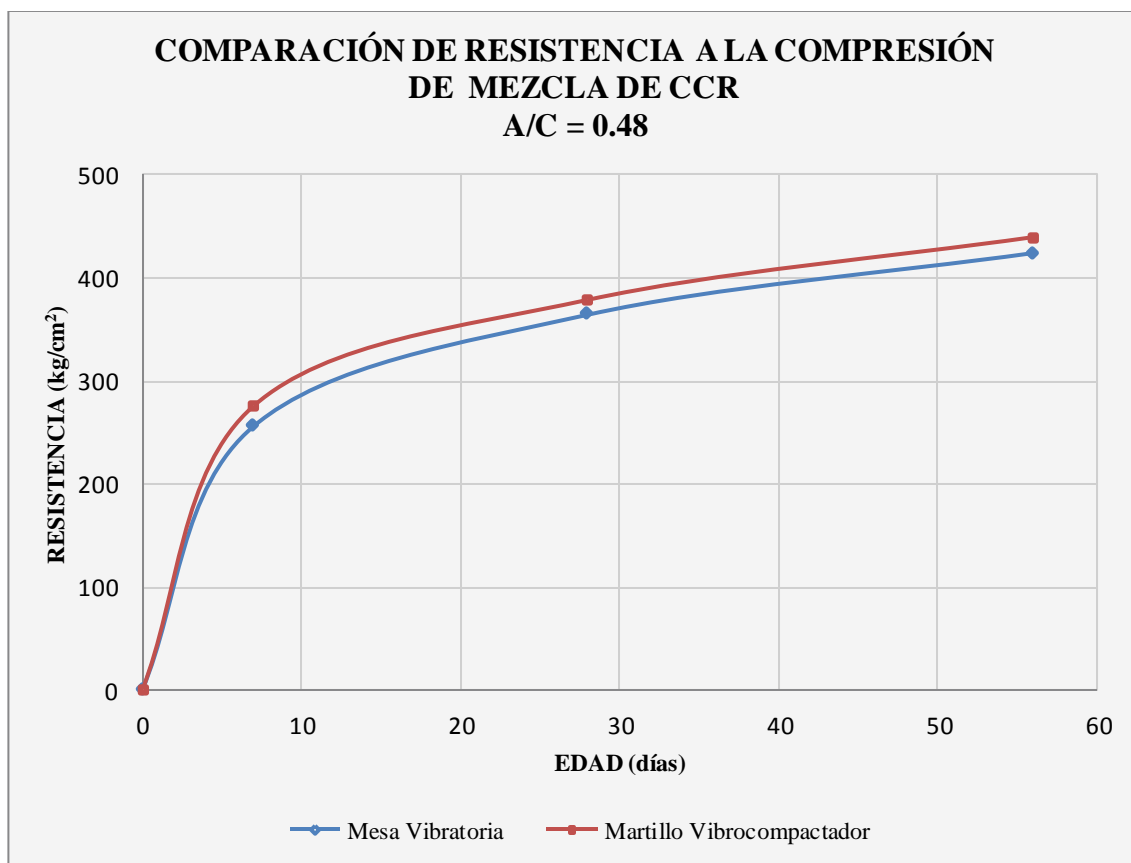
Fuente: Los autores

Analizando el gráfico de la figura N° 5.33, para una relación a/c de 0.48, la variación de la resistencia a la compresión a los 7 días es del 7 % (igual que para la relación a/c de 0.47), pero para los puntos graficados a la edad de 28 y 56 días, esta variación representa el 4 % de la resistencia a la compresión obtenida en los ensayos de ruptura de cilindros.

El gráfico N° 5.33 muestra resistencias mayores cuando se utiliza el martillo Vibrocompactador como método de llenado y moldeo de cilindros. El promedio de estas resistencias (mostradas en la Tabla N° 5.31) son de 439.72 kg/cm² para el martillo Vibrocompactador. Para la mesa Vibratoria este promedio es de 424.24 kg/cm².

De manera tal, que cuando se utiliza el martillo Vibrocompactador, este produce una mayor energía de compactación, distribuyéndose la pasta alrededor de los vacíos, generando un concreto menos permeable, más homogéneo y obteniendo mejores resistencias.

FIGURA N° 5.33: GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE AMBOS MÉTODOS DE MOLDEO PARA UNA RELACIÓN DE A/C DE 0,48



Fuente: Los autores

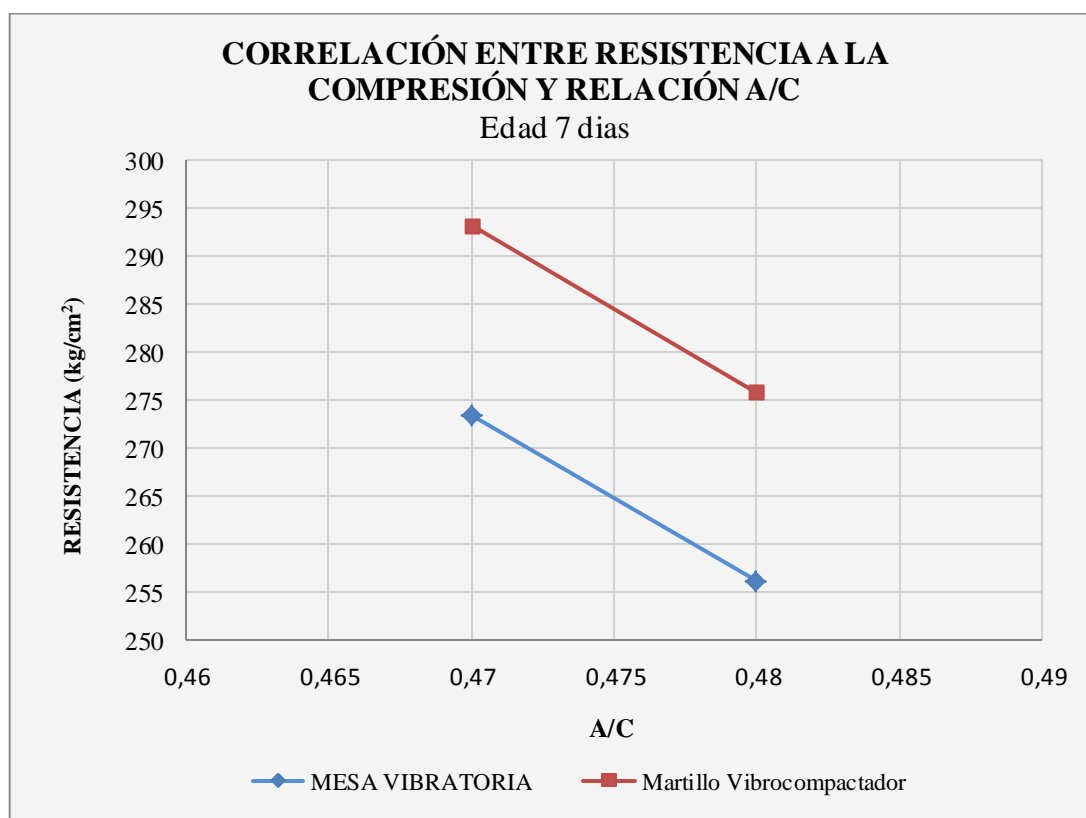
TABLA N° 5.31: PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE LOS DOS MÉTODOS PARA UNA RELACIÓN A/C DE 0.48

RELACIÓN A/C = 0.48			
MESA VIBRATORIA		MARTILLO VIBROCOMPACTADOR	
EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
7	256.13	7	275.82
28	364.36	28	378.83
56	424.24	56	439.72

Fuente: Los autores

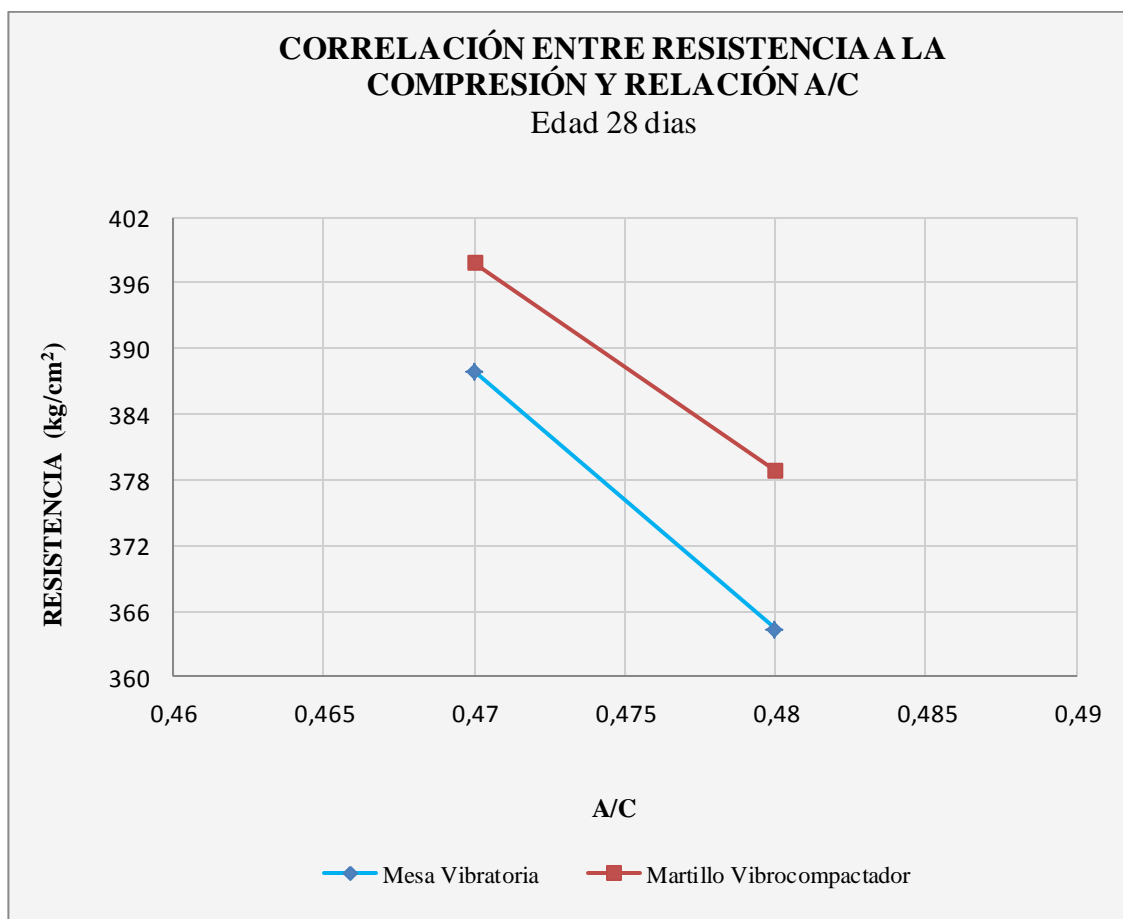
5.6.2 CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO SEGÚN LAS DOS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

FIGURA N° 5.34: GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS Y LA RELACIÓN A/C



Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.35: GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS Y LA RELACIÓN A/C



La grafica mostradas en la Figura N° 5.34 y N° 5.35 de resistencias promedio versus relación a/c, muestran un comportamiento decreciente, es decir a mayor relación a/c, menores resistencias son obtenidas. Los resultados de la resistencias ploteadas en los gráficos son mostradas en la tabla N° 5.32.

TABLA N° 5.32: RESUMEN DE LOS PROMEDIOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR MÉTODO DE MOLDEO PARA CADA RELACIÓN A/C OBTENIDA

A/C	Martillo Vibrocompactador			Mesa Vibratoria		
	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
0.47	293.17	397.87	435.34	273.41	387.89	432.65
0.48	275.82	378.83	439.72	256.13	364.36	424.24

Fuente: Los autores

Los porcentajes de variación de resistencias de la Mesa Vibratoria con respecto al Martillo Vibrocompactador, para una relación a/c de 0.47 a 7 días es de 6.74 % y para a/c de 0.48 es de 7.14%.

Cuando se realiza el ensayo de resistencia a los 28 días con una relación a/c de 0.47, el 2.57 % de resultados del Martillo Vibrocompactador se encuentran arriba de los que se obtienen con la Mesa Vibratoria, y para una relación de a/c de 0.48 este porcentaje es de 3.94 %, mostrando en esta investigación que el CCR presenta un comportamiento como el de un concreto convencional, es decir a mayor relación a/c menores resistencias obtenidas.

En CCR, cuando existe una cantidad de pasta insuficiente, los cilindros presentan oquedades, disminuyendo su resistencia; y cuando esta es alta, la cantidad de agua es tal que de igual manera disminuyen la resistencia.

5.6.3 CORRELACIONES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO.

La correlación entre estas dos propiedades del CCR en estado endurecido, se obtuvieron graficando en el eje de las coordenadas la resistencia a la compresión en kg/cm^2 y en el eje de las abscisas los correspondientes módulos de elasticidad dinámicos en kg/cm^2 . Estos valores son graficados para cada metodología separadamente.

La Tabla N° 5.33 muestra en resumen los resultados de los módulos de elasticidad obtenidos a las edades de prueba con el ensayo de la velocidad de pulso, contenidos en el Anexo H e I de este documento.

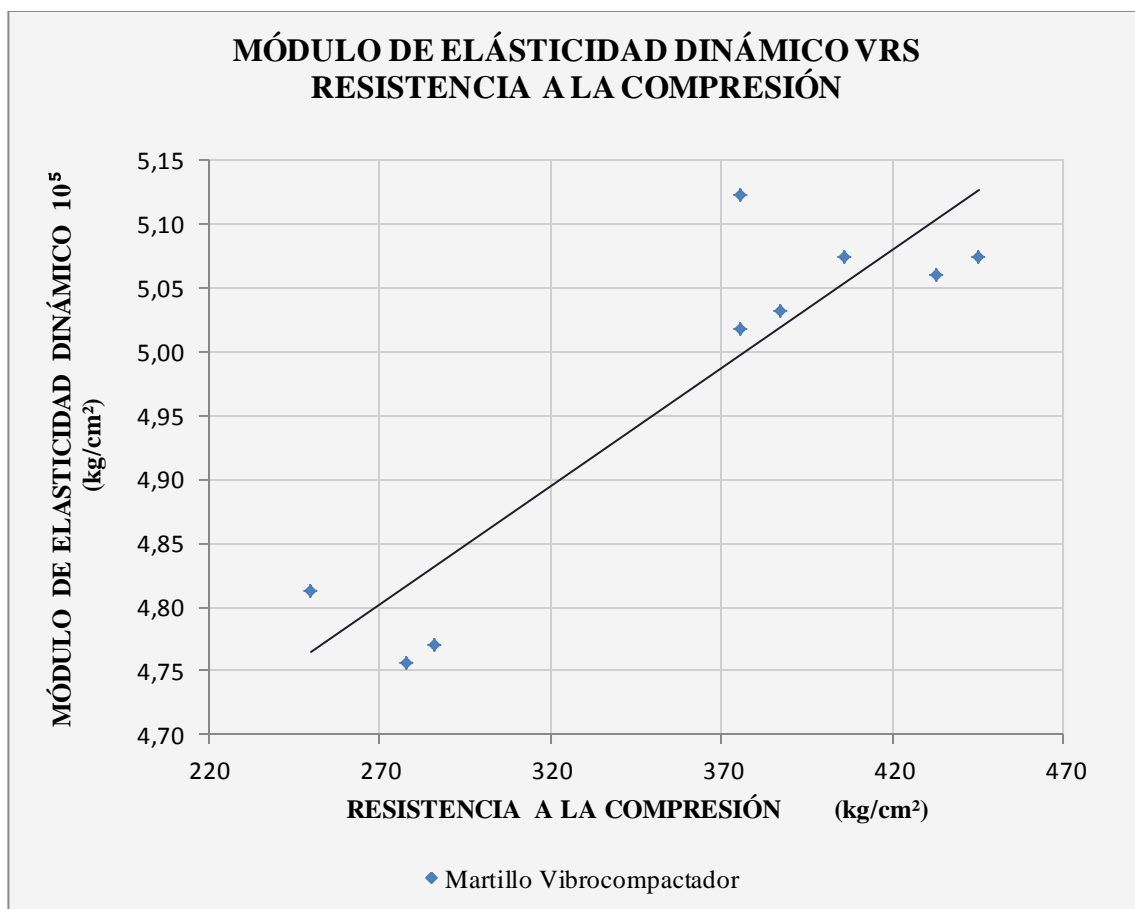
En el grafico mostrado en la figura N° 5.36 se visualiza que a medida la resistencia del CCR aumenta, el módulo de elasticidad dinámico también, esto se debe a la madurez del concreto cuando alcanza los 56 días, mayor uniformidad a medida existe una ganancia de resistencia. Cuando se obtienen velocidades mayores, valores mayores módulo de elasticidad también son obtenidos, pues existen menos presencia de vacíos y oquedades en el CCR.

**TABLA N° 5.33: MÓDULOS DE ELASTICIDAD DINÁMICO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN**

Cilindro	Edad	Resistencia a la Compresión		Módulo de Elasticidad Dinámico	
		kg/cm ²		10 ⁵ kg/cm ²	
Método de Moldeo		Martillo Vibrocompactador	Mesa Vibratoria	Martillo Vibrocompactador	Mesa Vibratoria
CM-7, CV 7	7	286.5	282.7	4.77	4.56
CM-8, CV8	7	249.9	290.5	4.81	4.54
CM-9,CM 9	7	278.3	278.8	4.76	4.40
BM-58,BV 58	28	387.4	353.0	5.03	4.76
BM-59, BV59	28	375.8	362.6	5.12	4.60
BM-60,BM 60	28	375.5	341.9	5.02	4.69
AM-37, AV 37	56	406.2	423.0	5.07	4.72
AM-38, AV38	56	445.3	418.8	5.07	4.66
AM-39,AM 39	56	432.8	424.4	5.06	4.66
Promedios					
	7	271.57	284.00	4.78	4.50
	28	379.57	352.50	5.06	4.68
	56	428.10	422.07	5.06	4.68

Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.36: **GRÁFICO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO PARA EL MARTILLO VIBROCOMPACTADOR**



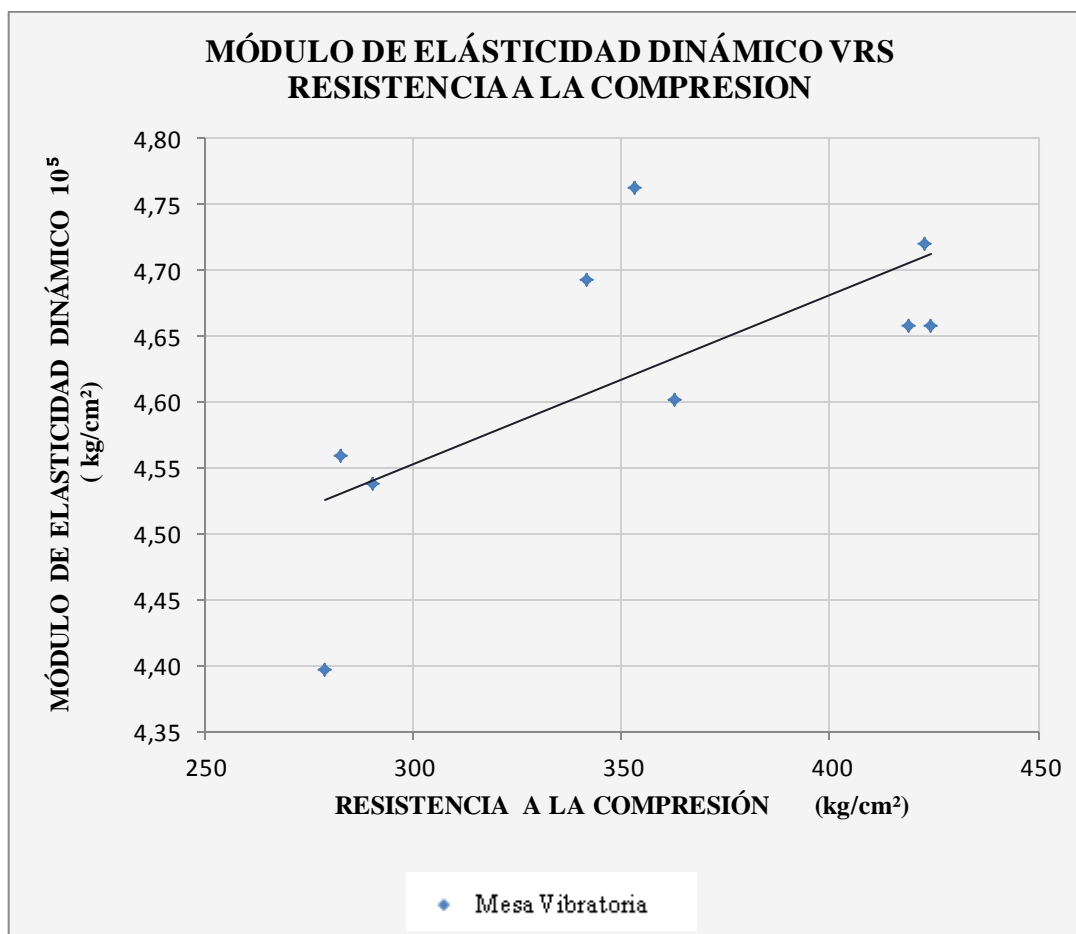
Fuente: Los autores

En la Figura N° 5.37, se muestra el gráfico resistencia-módulos de elasticidad dinámico para cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria, presenta una tendencia similar al gráfico de la figura N° 5.36, pero con valores mucho menores que los obtenidos con el Martillo Vibrocompactador.

Con el Martillo Vibrocompactador los módulos oscilan entre 4.77 a $5.06 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$.

Para la Mesa Vibratoria, estos valores oscilan de 4.56 a $4.66 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$.

FIGURA N° 5.37: GRÁFICO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO PARA LA MESA VIBRATORIA

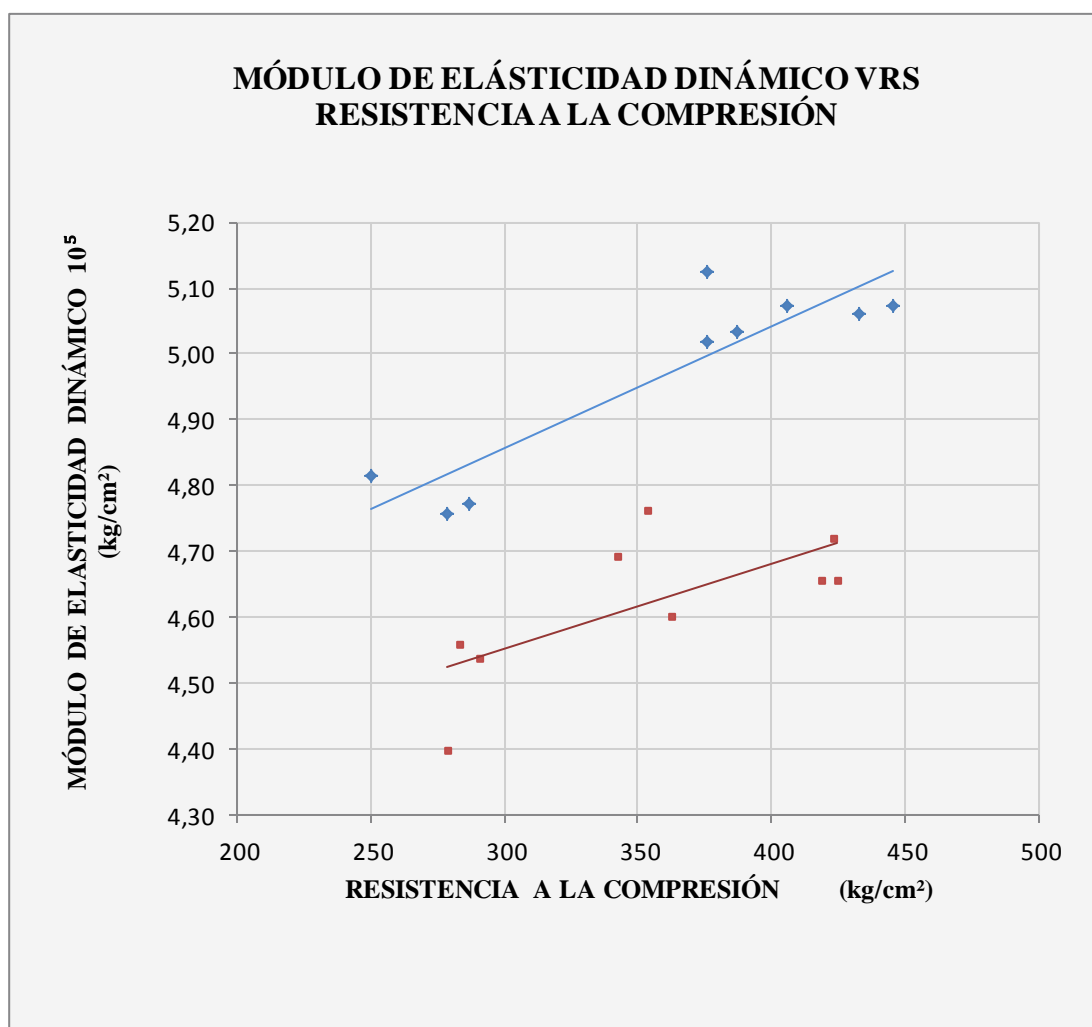


Fuente: Los autores

Realizando una comparación de los dos métodos (ver figura N° 5.38), el Martillo Vibrocompactador presenta mezclas más compactas, por ende, una velocidad de pulso mayor, que genera valores de módulos de elasticidad arriba de los que se obtienen con la otra metodología de moldeo.

El CCR compactado con el Martillo Vibrocompactador es más homogéneo, de forma numérica, un 8 % de valores se encuentran arriba de los módulos de elasticidad dinámicos que se obtienen con la Mesa Vibratoria.

FIGURA N° 5.38: COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DINÁMICOS OBTENIDOS CON LOS DOS MÉTODOS PARALELOS



Fuente: Los autores

5.6.4 CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO, PARA AMBOS MÉTODOS DE LLENADO DE CILINDROS

Utilizando la ecuación (5.1) para obtener los valores teóricos para las diferentes resistencias obtenidas en el laboratorio, se tiene la comparación entre los módulos estáticos teóricos y los obtenidos en los ensayos de laboratorio. La tabla N° 5.34: muestra estos resultados, en los que se puede observar que todos los valores están arriba del modulo esperado (teóricos).

En los ensayos de laboratorio se debe tener un cuidado considerable pues existen factores que hacen que los resultados no sean confiables, entre estos cuidados está la forma de desarrollar el ensayo, que puede ser un factor determinante en los resultados.

TABLAN° 5.34: MÓDULOS ESTÁTICOS TEÓRICOS Y DE LABORATORIO

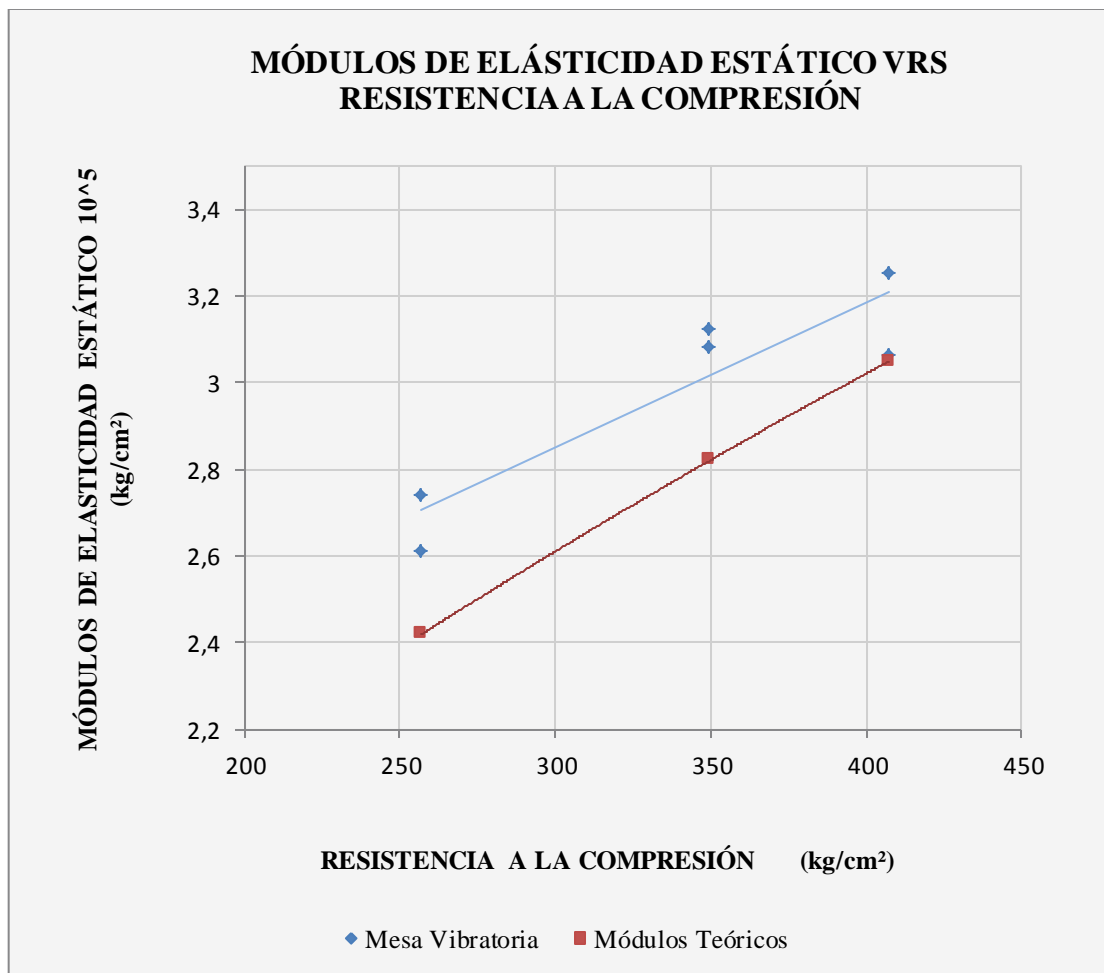
Método de fabricación de cilindros	N° de espécimen	a/c	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)			Módulo de Elasticidad Estático (kg/cm ²)*10 ⁵			Módulo teórico (kg/cm ²)*10 ⁵		
			7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días	7 días	28 días	56 días
ASTM C 1176	CV-2	0.48	263.5			2.61			2.45		
	CV-3	0.48	263.5			2.74			2.45		
	BV-2	0.48		368.7			3.08			2.90	
	BV-3	0.48		368.7			3.12			2.90	
	AV-2	0.48			407.6			3.06			3.05
	AV-3	0.48			407.6			3.25			3.05
ASTM C 1435	CM-2	0.48	257.1			3.18			2.42		
	CM-3	0.48	257.1			3.01			2.42		
	BM-2	0.48		349.6			3.25			2.82	
	BM-3	0.48		349.6			3.22			2.82	
	AM-2	0.48			407.6			3.27			3.05
	AM-3	0.48			407.6			3.38			3.05

Fuente: Los autores

Las figuras N° 5.39 y N° 5.40 muestran los gráficos con los resultados para ambos métodos comparándolos con los valores teóricos obtenidos con la ecuación (5.1).

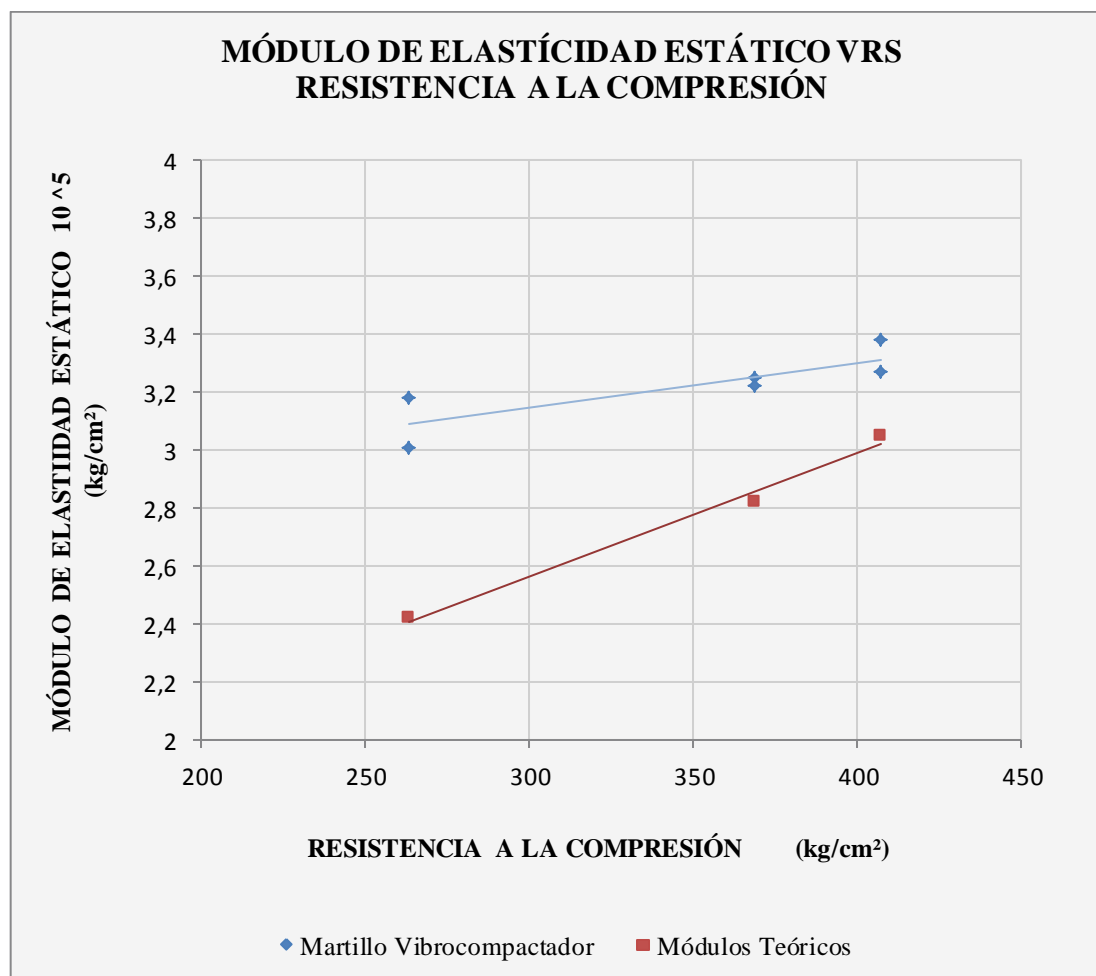
En la figura N° 5.39 se muestra el comportamiento que siguen los módulos de elasticidad, se observa que es creciente con respecto a la resistencia, comparando los resultados de laboratorio con los teóricos, podemos observar que a los primeros 28 días el comportamiento del concreto con respecto a su elasticidad es mayor, mientras que al llegar a los 56 días este se aproxima al valor teórico.

FIGURA N° 5.39: GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -
MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO UTILIZANDO LA MESA
VIBRATORIA



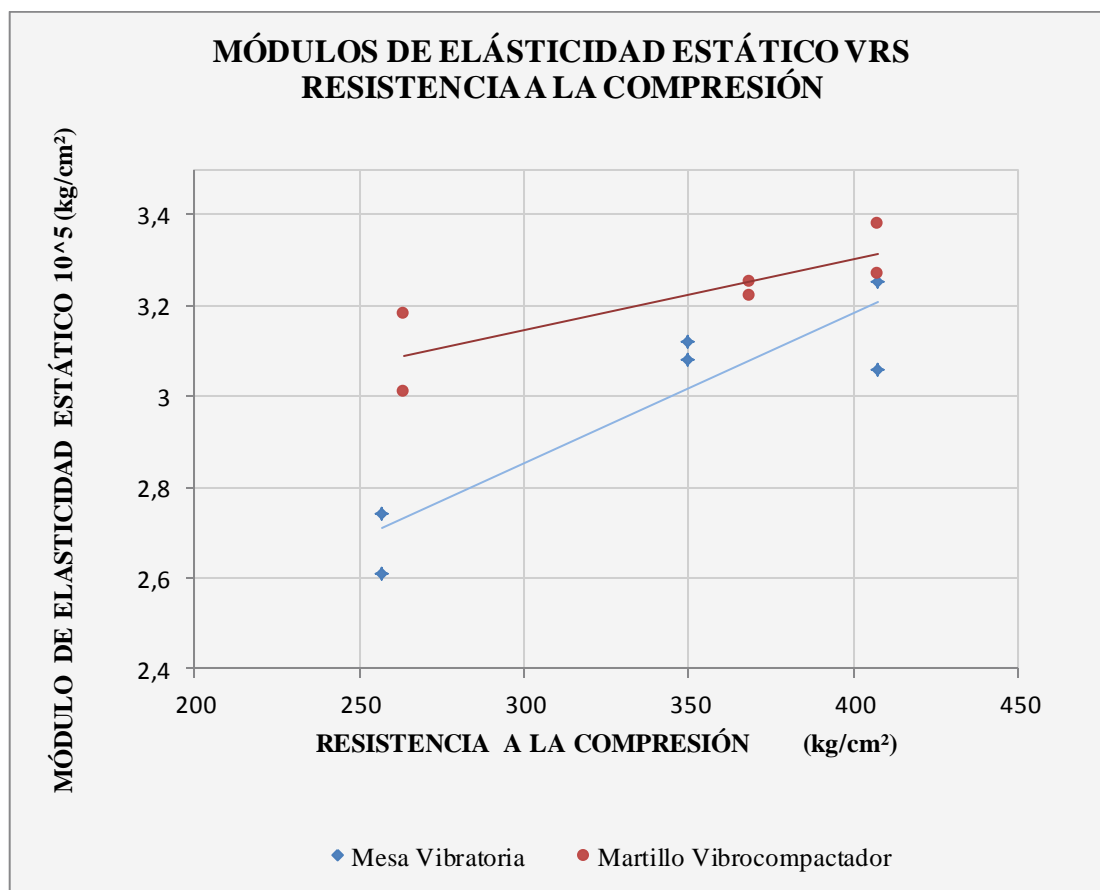
Fuente: Los autores

FIGURA N° 5.40: **GRÁFICA ESFUERZO DEFORMACION UTILIZANDO MARTILLO VIBROCOMPACTADOR**



El gráfico de la figura N° 5.40, muestra el comportamiento de los módulos estáticos de los cilindros elaborados con el martillo Vibrocompactador y como se puede visualizar, los valores obtenidos en laboratorio son superiores a los teóricos, pero siguen una tendencia menos pronunciada. Los valores obtenidos de ensayos de laboratorio oscilan entre 3.05 a 3.33 mientras que los valores teóricos son de 2.42 a 3.05.

FIGURA N° 5.41: COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS ESTÁTICOS
OBTENIDOS CON LOS DOS MÉTODOS PARALELOS



Fuente: Los autores

Comparando ambos métodos de llenado de cilindros y evaluando sus respectivos módulos estáticos (ver figura N° 5.41), se demuestra que la elasticidad de los cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador es mayor, este resultado se debe a la mejor compactación que existe con el Martillo que no se puede lograr con la Mesa Vibratoria, dando como resultado un concreto con mas vacios que debilitándolo al someterlo a cargas y deformaciones.

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presenta el contenido de la última etapa de esta investigación; el cual está dividido en dos partes: conclusiones y recomendaciones.

Las conclusiones están clasificadas de acuerdo a la etapa de desarrollo de las pruebas de laboratorio y los ensayos que se realizaron, desde la calidad de los materiales utilizados, la elaboración de la mezcla y su comportamiento, el análisis de los resultados de las pruebas al concreto en estado fresco así como también en estado endurecido, finalizando con las conclusiones de las correlaciones realizadas en el capítulo V y que fueron definidas en el capítulo III de este documento.

De igual manera se presentan las recomendaciones en base a toda la investigación realizada, a fin de brindar una línea de continuidad que permita conocer de una manera amplia la técnica del CCR, generando un documento de apoyo para futuras investigaciones.

6.2 CONCLUSIONES

6.2.1 GENERALES

- ❖ Los agregados utilizados para elaborar las mezclas de CCR, cumplen con la especificación de la ASTM C 33, norma que rige de forma general la calidad de los agregados para este tipo de concreto.

- ❖ Evaluando las propiedades en estado fresco y endurecido estudiadas al CCR a la edad de 28 y 56 días, las variaciones existentes se encuentran en un rango de 1 al 10 %; entre ambos métodos de moldeo de especímenes de prueba (Martillo Vibrocompactador y Mesa Vibratoria), resultando opcional el método que sea utilizado para el moldeo de cilindros, cuando la mezcla presenta una consistencia seca.

- ❖ En el moldeo de especímenes para la mezcla de CCR en estudio, el Martillo Vibrocompactador (ASTM C 1435) fué el método que presentó mejores resultados en el acabado superficial y acomodo de partículas comparado con los especímenes elaborados con la Mesa Vibratoria (ASTM C 1176).

6.2.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES Y PROPIEDADES

- ❖ El agregado grueso mostró valores de absorción de 2.20 %, gravedad específica seca de 2.60, peso volumétrico suelto de 1406 kg/cm³ y un peso volumétrico varillado de 1528 kg/cm³, además presenta una granulometría # 67 y su Tamaño Máximo Nominal es de 3/4", cumpliendo con lo especificado en la Norma ASTM C 33 concerniente al agregado grueso.

- ❖ Para el agregado fino se obtuvo un modulo de finura de 2.40 y una curva granulométrica dentro de los límites establecidos en la ASTM C 33, la gravedad específica seca es de 2.47 y superficialmente seca de 2.57, además posee un valor de absorción de 4.20 %.

- ❖ El cemento utilizado para la elaboración del concreto es el fabricado bajo norma ASTM C 1157 Tipo HE. El ensayo realizado al cemento en el laboratorio fue la gravedad específica, obteniendo un valor de 2.94.

6.2.3 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

En la investigación se realizaron tres mezclas preliminares, para obtener una resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y una consistencia seca (Tiempo Vebe de 5 a 10 segundos), que fueron utilizadas en la determinación de la mezcla óptima, teniéndose en la dosificación los siguientes resultados:

- ❖ En la primera mezcla de prueba se obtuvieron valores de resistencia a la compresión a 7 días de 341.78 kg/cm^2 y a los 28 días de 430.48 kg/cm^2 , representando un incremento a 28 días de 53 % del valor de diseño. La mezcla presento un porcentaje de arena de 23 %, cantidad que fue insuficiente para rellenar los vacios, provocando oquedades en estos.

- ❖ Los resultados de resistencia a la compresión de la segunda mezcla de prueba a la edad de 7 días mostraron resultados altos de 311.90 kg/cm^2 y a 28 días 394.18 kg/cm^2 , representando un incremento a 28 días de 40 % del valor de diseño. Para este diseño se disminuyo la cantidad de cemento en un 6 % y la cantidad de agregado grueso en un 9 % de la cantidad obtenida en la primera proporción (para que exista una mejor relación entre agregado grueso y fino, llenándose así la mayor cantidad de vacios.).

- ❖ Para el tercer diseño de prueba se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión a 7 días de 296.66 kg/cm^2 y a 28 días de 413.34 kg/cm^2 , representando un incremento a 28 días de 48 % del valor de diseño. La cantidad de cemento fue disminuida en un 5 % del segundo proporcionamiento, se mantuvo la cantidad de agregado grueso (50 %) y el agregado fino aumento en un 2.4 % debido a la disminución de la cantidad de cemento, con estos porcentajes la mezcla presento una buena consolidación y distribución de pasta.

- ❖ El primer diseño de prueba, fue rechazado por la limitada cantidad de pasta existente en la mezcla; en el segundo diseño de prueba, se determinó una cantidad de cemento que puede ser reducida, pues se obtuvieron altas resistencias, descartándose este diseño; mientras que el tercer diseño posee una proporción de agregado grueso y fino que cumple con los requisitos de compactación, consistencia y resistencia.

- ❖ El diseño optimo de mezcla para un metro cubico de CCR, con un tiempo Vebe entre 5 a 10 segundos, fue obtenido a partir de los ajustes realizados a la tercera mezcla de prueba y proporcionó los resultados siguientes con agregados en condición seca: Arena 632.8 kg (29 %), Grava 1106.8 kg (50 %), Cemento 301.7 kg (14 %) y Agua 144.8 l (7 %), dando como resultado una relación agua-cemento optima de $a/c = 0.48$.

6.2.4 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

- ❖ La mezcla elaborada en esta investigación presenta una consistencia dentro del rango de diseño para mezclas secas (5 a 10 segundos), la cual se determinó con el consistometro Vebe bajo Norma ASTM C 1170, los valores obtenidos de consistencia fueron de 8 a 10 s.

- ❖ Al realizar el ensayo de revenimiento utilizando el cono de Abrams, para todas las mezclas de laboratorio se obtuvo un valor de 0 pulg.

- ❖ La mezcla de CCR no presenta problema de alta temperatura, se obtuvieron valores en el rango de 25.9°C a 26.7°C, valores menores a la temperatura máxima especificada de 32°C por la norma ASTM C 94.

- ❖ En la realización del ensayo del tiempo de fraguado de la mezclas de CCR elaborada en esta investigación a una temperatura de 25 ° C se obtuvieron valores de fraguado inicial de 3 horas 13 min (193 min), mientras que el fraguado final se dio a las 5 horas 30 min (330 min).

- ❖ El tiempo promedio de elaboración de tres probetas cilíndricas (diámetro de 6 pul y altura de 12 pulg) hechas con la Mesa Vibratoria en esta investigación, fué de 40 min; mientras que para el Martillo Vibrocompactador fue de 25 min,

determinándose que es más práctico utilizar la metodología del Martillo Vibrocompactador, cuando la consistencia de la mezcla es seca.

- ❖ Los pesos volumétricos del CCR en estado fresco para cilindros que fueron elaborados con la Mesa vibratoria varía entre los rangos de 2307 a 2457 kg/m³ resultando un promedio de 2400 kg/m³ y para cilindros elaborados con la metodología del Martillo Vibrocompactador varían en el rango de 2380 a 2488 kg/m³ obteniéndose un promedio de 2430 kg/m³. La variación que existe de los pesos volumétricos del martillo Vibrocompactador con respecto a los de la mesa vibratoria es de 1.2 %.

6.2.5 ENSAYO AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

- ❖ Comparando los pesos volumétricos obtenidos del CCR en estado endurecido, se determino que existe una mínima variación de 1.2 % en los resultados obtenidos con el Martillo Vibrocompactador sobre la Mesa Vibratoria. Los cilindros elaborados con la metodología del martillo Vibrocompactador presentan resultados que varían desde 2379 a 2471 kg/m³ con un promedio de 2422 kg/m³ y para los cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria los resultados oscilan entre 2289 a 2446 kg/m³ obteniéndose un promedio de 2393 kg/m³.

- ❖ En el ensayo de resistencia a la compresión bajo la Norma ASTM C 39, el tipo de falla más común observado fue el tipo 5 con un 49.56 % (debido al acabado superficial de los cilindros, por el uso de placas no adherible), seguido del tipo 3 con un 17.29 %, tipo 2 con 13.44 %, tipo 6 con 12.21 % y el tipo 4 con 7.50 %.

6.2.6 CORRELACIONES

6.2.6.1 CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA QUE TIENE CADA MÉTODO DE LLENADO DE CILINDROS EN LABORATORIO CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, BAJO LAS NORMAS ASTM C 1176 (MESA VIBRATORIA) Y ASTM C 1435 (MARTILLO VIBRO COMPACTADOR).

- ❖ Utilizando una relación a/c de 0.47, para cilindros elaborados con el Martillo Vibrocompactador se obtuvieron valores de resistencia promedio a la compresión de 293.17 kg/cm² a 7 días, 397.87 kg/cm² a 28 días y 435.34 kg/cm² a 56 días. Mientras que para cilindros elaborados con la Mesa Vibratoria se obtuvieron valores promedios de resistencia a la compresión de 273.41 kg/cm² a 7 días, 387.89 kg/cm² a 28 días y a 56 días una resistencia de 432.65 kg/cm².

- ❖ Para una relación a/c de 0.47, la diferencia de resistencia a la compresión obtenida con el metodología del Martillo Vibrocompactador a 7 días presenta un incremento del 7 % comparado con la Mesa Vibratoria, a los 28 días la diferencia de resistencia entre métodos es de 3 %, sin embargo; los valores no presentan variación significativa a la edad de 56 días (1%).

- ❖ Utilizando una relación a/c de 0.48, para la Mesa vibratoria se obtuvieron valores de resistencia a la compresión de 256.13 kg/cm² a 7 días, 364.36 kg/cm² a 28 días y 424.24 kg/cm² a 56 días. Para el Martillo Vibrocompactador se obtuvieron valores de 275.82 kg/cm² a 7 días, 378.83 kg/cm² a 28 días y de 439.72 kg/cm² a 56 días.

- ❖ Para la relación a/c de 0.48 las resistencias obtenidas con el Martillo Vibrocompactador son mayores que las obtenidas con la Mesa Vibratoria en un 7 % a 7 días, mientras que a los 28 y 56 días presenta una diferencia de resistencia entre métodos del 4 %.

6.2.6.2 CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO SEGÚN LAS DOS METODOLOGÍAS DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

- ❖ Utilizando el Martillo Vibrocompactador el incremento de resistencia a la compresión para la relación a/c de 0.47 con respecto a la relación a/c de 0.48 es de 6.29 % en la resistencia a 7 días y a los 28 días el incremento fue de 5%, reflejando que a mayor relación a/c, las resistencias a la compresión disminuyen en el CCR. Lo mismo sucede cuando se aplica el método de la Mesa Vibratoria, a 7 días el incremento en la resistencia fue de un 6.75% y para 28 días el incremento es de 6%.

- ❖ Con los resultados obtenidos de las diferentes relaciones agua cemento y las resistencias se determina que ambas metodologías de llenado de cilindros (Martillo Vibrocompactador y Mesa Vibratoria) son similares y sus resultados no muestran diferencias significativas.

6.2.6.3 CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO, PARA AMBOS MÉTODOS DE LLENADO DE CILINDROS

- ❖ Los módulos estáticos promedios obtenidos a las edades correspondiente fueron los siguientes; a 7 días $E = 2.68 \times 10^5$ (kg/cm²), a 28 días $E = 3.10 \times 10^5$ (kg/cm²) y a 56 días $E = 3.12 \times 10^5$ (kg/cm²) utilizando la Mesa Vibratoria.

- ❖ Los módulos estáticos promedios obtenidos utilizando la metodología del Martillo Vibrocompactador a las edades correspondiente fueron las siguientes; a 7 días $E = 3.05 \times 10^5$ (kg/cm²), a 28 días $E = 3.24 \times 10^5$ (kg/cm²) y a 56 días $E = 3.33 \times 10^5$ (kg/cm²).

- ❖ En los cilindros de CCR elaborados con el Martillo Vibrocompactador, se obtienen concretos más elásticos, pues sus módulos estáticos son mayores que los de la Mesa Vibratoria. Un porcentaje de variación de valores de módulos de elasticidad del Martillo con respecto a la Mesa Vibratoria de 12 % a 7 días, 7 % a 28 días y 4 % a 56 días, demuestran que se alcanza compactaciones superiores al utilizar este método.

6.2.6.4 CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO

- ❖ Para las resistencias obtenidas a cada edad de ruptura 7, 28 y 56 días y una relación a/c de 0.48, los módulos de elasticidad dinámicos obtenidos con el Martillo Vibrocompactador fueron de 4.78×10^5 kg/cm², 5.06×10^5 kg/cm² y 5.06×10^5 kg/cm² respectivamente, reflejando que a la edad de 28 y 56 días el módulo de elasticidad dinámico no tiene incremento.

- ❖ Para la Mesa Vibratoria los módulos de elasticidad dinámicos, para las resistencias obtenidas a cada edad con una relación a/c de 0.48, son de 4.50×10^5 kg/cm², 4.68×10^5 kg/cm² y 4.68×10^5 kg/cm² respectivamente, reflejando que a la edad de 28 y 56 días el módulo de elasticidad dinámico no tiene incremento.

- ❖ Las variaciones obtenidas entre los métodos de llenado de cilindros empleados en esta investigación, reflejan resultados similares en los valores obtenidos de los módulos de elasticidad; pues en el caso del Martillo Vibrocompactador, su modulo de elasticidad dinámico a los 28 días de 5.06×10^5 kg/cm² mayor en un 8%, al valor obtenido con la Mesa Vibratoria (4.68×10^5 kg/cm²).

6.3 RECOMENDACIONES

6.3.1 GENERALES

- ❖ Cuando se desee realizar algún estudio referente al CCR, se deberá investigar a profundidad todo lo relacionado al diseño de la mezcla, su dosificación y deberá conocerse el comportamiento de esta para obtener buenos resultados.
- ❖ Cuando se requiera utilizar un método de moldeo de especímenes de CCR para una mezcla seca, en probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg, se recomienda el Martillo Vibrocompactador, ya que es una metodología más simplificada comparada con la Mesa Vibratoria.
- ❖ Para futuras investigaciones, es necesario realizar un número suficiente de ensayos (según el comité ACI 214 debe ser como mínimo 30 ensayos = 60 cilindros para un adecuado control de calidad), para obtener resultados estadísticos que indique una buena confiabilidad en la variación del CCR.
- ❖ Cuando se lleve a cabo una investigación referente a este tipo de concreto, la revisión del equipo y la instalación de las piezas del mismo, deberán realizarse con anticipación a los ensayos, debiendo cumplir con las normas ASTM y ACI especificados.

6.3.2 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

- ❖ Al evaluar las propiedades de los agregados, se debe además de conocer sus características para el diseño de la mezcla, conocer la calidad de estos como lo recomendado en la norma ASTM C 33.

6.3.3 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CCR

- ❖ En esta investigación las proporciones utilizadas en el diseño de la mezcla de CCR, corresponden a un tipo de materiales determinados; es por ello que para elaborar este tipo de concreto con otros materiales, se debe considerar un nuevo proporcionamiento que corresponda a los recursos a utilizar, tomando como referencia la metodología aplicada en este estudio.
- ❖ Para obtener resistencias aproximadas a las descritas en esta investigación, y cuando se tienen materiales en similares condiciones, para una consistencia seca, se recomienda utilizar como base el siguiente proporcionamiento para un metro cubico, Arena seca: 632.8 kg, Grava seca: 1106 kg, Cemento: 301.7 kg y Agua: 144.8 l.
- ❖ En la etapa del proporcionamiento de la mezcla de CCR, deben de realizarse diseños preliminares (tres o más), para evaluar los parámetros de consistencia y

resistencia a la compresión que se desee alcanzar. Es importante identificar la presencia de oquedades en los especímenes elaborados como parte inicial de la etapa de diseño de la mezcla. Si no se obtienen los resultados deseados deberá modificarse la proporción para proveer una cantidad mayor de pasta y asegurar la funcionalidad de la mezcla.

- ❖ Para futuras investigaciones, donde se desee conocer el comportamiento de los métodos de moldeo de cilindros estudiados en esta tesis, con otro tipo de consistencias, es necesario realizar otros diseños considerando los parámetros de resistencia, consistencia y acabado superficial de las probetas.
- ❖ Para conocer mejor el comportamiento de la grafica de resistencia a la compresión vrs relación A/C, se deberán obtener varias relaciones a/c, y así poder determinar la tendencia que esta sigue.

6.3.4 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CCR

- ❖ Se deben emplear los métodos adecuados para determinar las condiciones de humedad de los agregados ,a fin de mantener las condiciones de diseño, ya que las mezclas de CCR son sensibles a las variaciones de agua, lo que genera cambios en las relaciones a/c.

- ❖ Desarrollar procedimientos adecuados de mezclado, transporte, vaciado y colocación con la mezcla de CCR a fin de evitar la segregación, pues este tipo de mezclas por ser de consistencia seca y poseer una cantidad alta de grava están propensas a segregarse.

6.3.5 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

- ❖ Por el comportamiento de los patrones de falla obtenidos en esta investigación; es recomendable utilizar el método de cabeceo especificado en la norma ASTM C 617 (para mejorar las superficies de apoyo de los cilindros y se distribuya uniformemente la carga cuando se realice el ensayo a la compresión). Aún cuando para este rango de resistencia está permitido el uso de placas no adheribles.
- ❖ Cuando se realiza una investigación en la cual se desee conocer la evolución de la ganancia de resistencia en el tiempo, elaborar cilindros de una misma mezcla para las edades de ensayo necesarias y evitar así variaciones en los resultados de resistencia.

GLOSARIO

- **ACI:** Instituto Americano del Concreto.
- **Adición:** Material inorgánico finamente dividido, utilizado en el concreto para mejorar ciertas propiedades o lograr propiedades especiales. Existen dos tipos de adiciones inorgánicas: adiciones inertes (Tipo I) y adiciones hidráulicas latentes o puzolánicas (Tipo II).
- **Aditivo:** Material añadido en pequeñas cantidades durante el proceso de mezclado del concreto en relación con la masa de cemento para modificar las propiedades del concreto fresco o endurecido.
- **Agregados:** material granular, como arena, grava, piedra triturada de hierro o escoria de alto horno, que se utiliza con un cementante para formar concreto hidráulico o mortero.
- **Agregado fino:** agregado pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8-pulg.) y casi en su totalidad pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) pero que es retenido en el tamiz de 75- μ m (Nº 200)// parte de un agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el 75 m (No. 200).
- **Agregado Grueso:** agregado predominantemente retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)// parte de un agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- **Aire atrapado:** Aire en el concreto que no fue contenido a propósito. El aire atrapado normalmente se considera como vacíos grandes (mayores de 1 mm).
- **Aire incorporado:** burbujas de aire microscópicas incorporadas intencionalmente al mortero u hormigón durante el mezclado, generalmente utilizando un agente

tensoactivo; típicamente de entre 10 y 1000 μm de diámetro y de forma esférica o casi esférica.

- **Arena manufacturada:** Agregado fino producido al triturar roca, grava, escorias de hierro de altos hornos, o concreto de cemento hidráulico.
- **Bachada:** Cantidad de materiales mezclados, que en cada ciclo produce una revolvedora o planta mezcladora.
- **Calor de hidratación:** Calor desarrollado por reacciones químicas de una sustancia con el agua tal como el desarrollo durante el fraguado y endurecimiento del cemento Portland.
- **CCR:** El comité ACI 116 define al CCR como “Concreto Compactado con Rodillo, es aquel concreto que en estado no endurecido soportará un rodillo mientras es compactado”// Concreto de consistencia seca, asentamiento nulo, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza con un rodillo vibrante.
- **Cemento:** Es un conglomerante que une o da cohesión, producido por la pulverización de la escoria que consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, que en forma usual contienen una o más formas de sulfatos de calcio que se añade y se muele con ella.
- **Cenizas volantes:** residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón en polvo o tierra y que se transporta por los gases de combustión procedentes de la zona de combustión de las partículas en la eliminación del sistema.
- **Clinker:** Caliza cocida.

- **Cohesión:** Identificada con el esfuerzo de cedencia, representa la resistencia que la mezcla opone para deformarse e iniciar el flujo del concreto.
- **Colado:** Es la actividad de colocar el concreto en las cimbras o encofrados.
- **Concreto endurecido:** El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.
- **Concreto fresco:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo.
- **Concreto normal:** Es aquel concreto de uso común en las obras que se construyen con equipos y procedimientos ordinarios, suele elaborarse mediante mezclas de consistencia semifluida, plástica y semiplástica en las que resulta aplicable la prueba de revenimiento.
- **Consistencia:** habilidad relativa de un concreto recién mezclado de fluir.
- **Contenido de aire:** volumen de vacíos de aire en la pasta de cemento, mortero o concreto, contenido en los poros del agregado, generalmente se expresa como un porcentaje del volumen total de la pasta, mortero concreto.
- **Componentes del concreto:** Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento

Portland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.

- **Curado:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
- **Densidad aparente:** masa de una unidad de volumen de agregados a granel (la unidad de volumen incluye la volumen de las partículas individuales y el volumen de la vacíos entre las partículas).
- **Diseño de Mezcla:** Proceso en el cual se calculan las cantidades de cada uno de los materiales que conforman el concreto, con el objetivo que éste cumpla con las propiedades y condiciones para las cuales fue diseñado.
- **Endurecimiento:** ganancia de fuerza y otras propiedades, de un mezcla de concreto, como resultado de la hidratación después del ajuste final.
- **Escoria de alto horno granulada:** material vítreo, granular formado cuando la escoria de alto horno se enfría rápidamente, como por inmersión en agua.
- **Filler:** Material fino, compuesto por arena molida y seca.
- **Finos:** Material pasante de la malla N° 200.
- **Fraguado:** La condición alcanzada por una pasta de cemento, mortero o concreto cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario, usualmente medida en términos de resistencia a la penetración o deformación.
- **Granulometría:** Distribución de los tamaños de las partículas de los agregados.

- **Grava:** agregado grueso resultante de la desintegración natural y la abrasión de la roca o el procesamiento débilmente del conglomerado.
- **Grava triturada:** producto resultante de la trituración artificial de grava con lo esencial de los fragmentos que tienen en por lo menos una cara como resultado de la fractura.
- **Gravedad Específica:** proporción de la masa de un volumen de un material a una temperatura específica a la masa del mismo volumen de agua destilada a una temperatura establecida.
- **Mezclado:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.
- **Módulo de finura:** un factor resultante de la suma de los porcentajes de materiales de la muestra que sea más gruesa que cada uno de los siguientes tamices (acumulativo porcentajes retenidos) 150 μm (No. 100), de 300 μm (No. 50), de 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), de 2,36 mm (No. 8), de 4.75 mm (No. 4), de 9,5 mm (3/8 pulg), 19,0 mm (3/4 pulg), de 37,5 mm (1 1/2 pulg), de 75 mm (3 pulg) 150 mm (6 pulg), y dividiendo la suma entre 100.
- **Mortero:** La fracción de concreto consistente en la pasta junto con los agregados de tamaño inferior a 4.75 mm (malla N° 4).
- **Oquedades:** Son huecos vistos en el acabado superficial del concreto, el cual puede dar signo de una posible segregación.

- **Pasta:** Se refiere a la mezcla de cemento, agua, aire (naturalmente atrapado o intencionalmente incorporado) y aditivos (cuando son empleados).
- **Peso específico:** relación entre la masa de un volumen de un material (incluyendo los vacíos permeables e impermeables en el material, pero con exclusión de los espacios vacíos entre las partículas de el material) a una temperatura de una masa de un igual volumen de agua destilada, a una temperatura establecida.
- **Peso específico (superficialmente seca):** proporción de la masa de un volumen de un material que incluye la masa de agua dentro de los poros en el material (con exclusión de la vacíos entre las partículas) a una temperatura establecida, a la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura establecida.
- **Permeabilidad:** Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.
- **Puzolana:** Silicatos y alumino-silicatos, que por su cuenta poseen poco o ningún valor cementante pero que, finamente divididos y en presencia de humedad, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar componentes que poseen propiedades cementantes.
- **Relación agua/cemento (A/C):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo solo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad en peso de cemento en la pasta aglutinante.
- **Resistencia a la compresión:** Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en

Kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo $f`c$.

- **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.
- **Tamaño máximo:** en la especificación de la descripción de los agregados, la mínima abertura de tamiz a través del cual el total del agregado se requiere pasar.
- **Tamaño máximo nominal:** en las especificaciones para la descripción de los agregados, la apertura más pequeña del tamiz a través del cual el total de la suma se permite pasar.
- **Tiempo de fraguado:** transcurrido desde la incorporación del agua de mezcla en el concreto, hasta que la mezcla alcanza un determinado grado de rigidez medida por un procedimiento específico.
- **Tiempo de fraguado inicial:** tiempo transcurrido, después del contacto inicial de cemento y agua, necesarios para la mortero tamizado del hormigón para llegar a una penetración resistencia de 500 psi (3,5 MPa).
- **Tiempo de fraguado final:** tiempo transcurrido, después del contacto inicial del cemento y agua, necesarios para el mortero tamizado del concreto para llegar a una resistencia a la penetración de 4000 psi (27,6 MPa).
- **Tiempo Vebe:** tiempo requerido para que una mezcla se consolide, cuando el equipo del Vebe es utilizado.
- **Trabajabilidad del concreto:** propiedad del concreto que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado, consolidado, y acabado

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Libros de Texto:

- Centro Técnico del Hormigón, **“Hormigón compactado con rodillo (HCR), hormigón compactado con pavimentadora (HCP)”**, Serie Monografías N° 013. Ecuador, Noviembre 2001.
- Cipriano A. Londoño N., Ingeniero del Departamento Técnico, **“Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto compactado con rodillo”**, Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC).
- H. A. Todres, C. L. Wu and S. M. Tarr, **“Improving Roller Compacted Concrete Pavement Technology: Construction”**. Portland Cement Association, PCA (1995).
- Joseph F. Lamond and James H. Pielert, **“Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials”**, ASTM Stock No. STP 169D, April 2006.
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarece, y Jussara Tanesi, **“Diseño y control de mezclas de concreto”**, Portland Cement Association (PCA).

Revistas:

- Revista N° 25 del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), **“DEL CCR AL CCP, Un paso hacia la excelencia en los Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo”**. Por Ing. Carlos Quintanilla. Año 7, Junio 2002.
- Revista N° 58 del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), **“Concreto de Consistencia Seca: Una alternativa constructiva”**. Año 15.
- Revista No. 2 del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). **“El Suelo Estabilizado y El Concreto Compactado con Rodillo”**.
- Revista de Obras Públicas: **“Características de hormigones Compactados con Rodillo”**, por Joaquín Díez Cascón Sagrado. Año 141, Febrero 2004.
- Revista de La Facultad de Ingeniería: **“Comentarios Sobre el Concreto Compactado con Rodillo (CCR)”**. Por Luz Elena Santaella Valencia Ph.D., Universidad Militar de Nueva Granada, Noviembre 1999.
- Vice Ministerio de Obras Públicas, **“Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) empleado en la construcción de pavimentos”**, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Septiembre de 2003.

Trabajos de graduación:

- Ramón Fritz, Alvarado Glower y otros, **“Concreto compactado con pavimentadora como alternativa de pavimentación para la red vial de El Salvador”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2004).

- Adolfo Mendoza Álvarez y otros, **“Determinación de la correlación entre el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2004).

- Selma Idalia González Moran y otros, **“Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla. Beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en El Salvador”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2005).

- Ing. Miriam Rosanna Escalaya Advíncula, **“Diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos”**. Tesis para optar el grado de maestro en ciencia con mención en ingeniería geotécnica en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú (2006).

- Edgar Rolando Ríos Gallardo, **“La utilización de pavimentos de concreto rodillado (PCR) para la construcción de calles y carreteras en Guatemala”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (2004).

- Juan Pablo Valle Gómez, **“Diseño de la dosificación para hormigón compactado con rodillo y base estabilizada con cemento para su uso en las vías de Manabí”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador (2009).

Comités:

- ACI 211.3R-02
Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete

- ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001)
Report on Roller-Compacted Concrete Pavements

- ACI 207.5R-99
Roller-Compacted Mass Concrete

- ACI 214R-02
Evaluation of Strength Test Results of Concrete

- ACI 318M-05
Building code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- ACI 304R-00
Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete.

Normas:

- ASTM Designation: C 29/C 29M – 07
Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.
- ASTM Designation: C 33/C 33M – 08
Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM Designation: C 39/C 39M – 05
Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM Designation: C 94/C 94M – 09
Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
- ASTM Designation: C 125 – 07
Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

- ASTM Designation: C 127 – 07
Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.

- ASTM Designation: C 128 – 07a
Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.

- ASTM Designation: C 136 – 06
Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

- ASTM Designation: C 188 – 95 (Reapproved 2003)
Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.

- ASTM Designation: C 192/C 192M – 07
Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

- ASTM Designation: C 403/C 403M – 08
Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.

- ASTM Designation: C 469 – 02e1
Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

- ASTM Designation: C 566 – 97 (Reapproved 2004)
Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- ASTM Designation: C 597 – 02
Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- ASTM Designation: C 702 – 98 (Reapproved 2003)
Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.
- ASTM Designation: C 1064/C 1064M – 08
Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM Designation: C 1157-08a
Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.
- ASTM Designation: C 1170/C 1170M – 08
Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table.
- ASTM Designation: C 1176/C 1176M – 08
Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table.

- ASTM Designation: C 1435/C 1435M – 08
Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer.
- ASTM Designation: C 1602/C 1602M – 06
Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.
- ASTM Designation: D 75
Standard Practice for Sampling Aggregates.
- BS 1881-Parte 103: 1993
Method for determination of compacting factor.

Otras Fuentes:

- Folletos de clase: “**Tecnología del concreto**”. Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía. Universidad de El Salvador, UES (2011).
- Artículo: “**Porcentaje de resistencia del concreto**”. Ing. Ricardo Burgos Oviedo. Jefe de Laboratorio ISCYC (Abril 2011).

ANEXOS

ANEXO A:

**CARTA DE CERTIFICACIÓN DE CALIDAD
DEL CEMENTO TIPO HE ASTM C1157**

HOLCIM EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 2
Ref. CESSAPAV 09-11

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-08, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 30 de Septiembre de 2011 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS

DETERMINACIÓN	ASTM C1157-08 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	142
Resistencias a la Compresión (ASTM C109)		
1 día (psi)	1,450 mín.	2,140
3 días (psi)	2,470 mín.	3,560
7 días (psi)	...	4,250
28 días (psi) (A)	...	5,430
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	6
Fineza Blaine (cm ² /g) (B) (ASTM C 204)	...	4,630
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	1.9
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	48.6
Expansión de barras sumergidas en agua. 14 días (%) (ASTM C1038) (A)	0.020 % máx.	0.000
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	-0.02

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los diez días del mes de Octubre del año dos mil once.


Ing. Roberto Guandique
Gerente de Control de Calidad



NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

HOLCIM EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

HOLCIM EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 2
Ref. CESSAPAV 10-11

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CESSAPAV**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C1157-08, Tipo HE. Este cemento, producido en fecha del 1 al 31 de Octubre de 2011 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS

DETERMINACIÓN	ASTM C1157-08 Tipo HE	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Tiempo de Fraguado Vicat (ASTM C 191) Inicial (minutos)	No menor de 45 minutos No mayor de 420 minutos	155
Resistencias a la Compresión (ASTM C 109) 1 día (psi) 3 días (psi) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,450 mín. 2,470 mín	2,080 3,510 4,170 5,040
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	5
Fineza Blaine (cm ² /g) (B) (ASTM C 204)	...	4,640
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.4
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	47.8
Expansión de barras sumergidas en agua. 14 días (%) (ASTM C 1038) (A)	0.020 % máx.	0.001
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C 151)	0.80 % máx.	-0.03

A: Este dato fue obtenido de un periodo previo del resto de valores, pues es el valor más reciente
B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe de reportarse.

Metapán a los ocho días del mes de Noviembre del año dos mil once.

Ing. Roberto Guandique
Gerente de Control de Calidad



NOTA: PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE LA EMPRESA

HOLCIM EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreveiva, Antiguo Cuscatlán
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

ANEXO B:

TABLA PARA DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espiño y Boulevard Sur Antiguo
Cuscatlan, La Libertad Tel.2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE CCR MÉTODO ACI 211.3

PROYECTO :	TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
SOLICITANTE :	MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
ESTRUCTURA :	PRIMER DISEÑO
LABORATORISTA:	
Fecha de Diseño:	f'c = 280 kg/cm ²
Fecha de Mezcla:	f'cr = 354.2 kg/cm ²
	Consistencia = Seca
	Tipo de Cemento: HE
	G. Específica : 2.94

DATOS DE AGREGADOS

	Arena rio JIBOA	Grava 3/4"
(a) gravedad específica (G)	2.47	2.60
(b) Peso Volumétrico (kg/m ³)	--	1528
(c) Humedad (%)	13.10	1.40
(d) Absorción (%)	4.20	2.20
M.F.	2.40	--
TMN	---	3/4"

CÁLCULOS

Relación A/C	0.48	
Agua	169	L/m ³
Cemento	352	kg/m ³
Volumen de agregado grueso	0.82	m ³
Peso de agregado grueso seco	1253	kg/m ³
Aire atrapado	1.50	%
Volumen sólido de cemento	120	L
Volumen de agua	169	L
Volumen de grava	482	L
Volumen de aire	15	L
Volumen total sin arena	786	L
Volumen sólido de arena	214	L
Peso de arena	529	kg

Corrección por humedad y absorción

Humedad de arena	69.4	kg
Humedad de grava	17.5	kg
Agua libre de arena	8.90	%
Agua libre de grava	-0.80	%
Agua aportada por arena	47.1	L
Agua aportada por grava	-10.0	L
Agua aportada	37.1	L

Cantidades requeridas para un metro cúbico de concreto

Calculadas

Cemento	352	kg
Agua	169	L
Arena Seca	529	kg
Grava seca	1253	kg

Usadas en la Obra

Cemento	352	kg/m ³
Agua	131.9	L
Arena húmeda	598.3	kg
Grava Húmeda	1270.5	kg

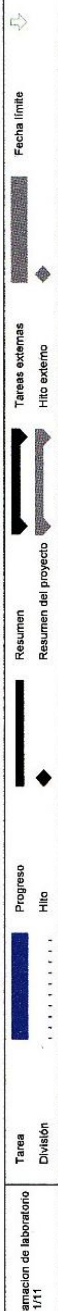
2353

PARA	0.028	m ³
Cemento	9.86	kg
Agua	3.69	l
Arena	16.75	kg
Grava	35.57	kg

OBSERVACIONES:

ANEXO C:
PROGRAMACIÓN DE TRABAJO EN
LABORATORIO, ISCYC

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Gantt Chart																								
					mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre																			
1	PRESELECCIÓN DE PROGRAMACIÓN DE TRABAJO DE LABORATORIO	116 días	lun 02/05/11	lun 10/10/11	[Gantt bar from May 2 to Oct 10]																								
2	Muestreo de Agregados	1 día	lun 02/05/11	lun 02/05/11	[Gantt bar at May 2]																								
3	Muestreo de los agregados (ASTM D - 75)	1 día	lun 02/05/11	lun 02/05/11	[Gantt bar at May 2]																								
4	Reducción a tamaño de muestra de ensayo (ASTM C - 702)	1 día	lun 02/05/11	lun 02/05/11	[Gantt bar at May 2]																								
5	Preparación de material para granulometría	1 día	lun 02/05/11	lun 02/05/11	[Gantt bar at May 2]																								
6	Granulometría (ASTM C 136)	1 día	mar 03/05/11	mar 03/05/11	[Gantt bar at Mar 3]																								
7	Agregado Grueso	1 día	mar 03/05/11	mar 03/05/11	[Gantt bar at Mar 3]																								
8	Agregado Fino	1 día	mar 03/05/11	mar 03/05/11	[Gantt bar at Mar 3]																								
9	Gravedad específica (ASTM C 127 Y ASTM C 128)	3 días	mié 04/05/11	vié 06/05/11	[Gantt bar from Mar 4 to Mar 6]																								
10	reducción a tamaño de muestra de ensayo, lavado y secado (Grava y Arena)	1 día	mié 04/05/11	mié 04/05/11	[Gantt bar at Mar 4]																								
11	Ejecución del ensayo	2 días	jue 05/05/11	vié 06/05/11	[Gantt bar from Mar 5 to Mar 6]																								
12	Peso Volumetrico (ASTM C 29)	2 días	lun 09/05/11	mar 10/05/11	[Gantt bar from Mar 9 to Mar 10]																								
13	Lavado, secado.	1 día	lun 09/05/11	lun 09/05/11	[Gantt bar at Mar 9]																								
14	Ejecución de ensayo	1 día	mar 10/05/11	mar 10/05/11	[Gantt bar at Mar 10]																								
15	Contenido de humedad (ASTM C 566)	1 día	mié 11/05/11	mié 11/05/11	[Gantt bar at Mar 11]																								
16	Ejecución de ensayo	1 día	mié 11/05/11	mié 11/05/11	[Gantt bar at Mar 11]																								
17	Análisis de los Resultados de los Agregados	5 días	jue 12/05/11	mié 19/05/11	[Gantt bar from Mar 12 to Mar 16]																								
18	Obtención de Resultados	5 días	jue 12/05/11	mié 19/05/11	[Gantt bar from Mar 12 to Mar 16]																								
19	Elaboración de Mezclas de Prueba	40 días	jue 19/05/11	mié 13/07/11	[Gantt bar from Mar 19 to Jul 13]																								
20	separ. ACI 211.3 (65) Tapa hasta obtener una resistencia separada de (c=280 kg/cm2	40 días	jue 19/05/11	mié 13/07/11	[Gantt bar from Mar 19 to Jul 13]																								
21	ruptura de cilindros	35 días	jue 26/05/11	mié 13/07/11	[Gantt bar from Mar 26 to Jul 13]																								
22	Elaboración Mezcla definitiva	30 días	jue 14/07/11	mié 24/08/11	[Gantt bar from Jul 14 to Aug 24]																								
23	Elaboración de Mezclas	30 días	jue 14/07/11	mié 24/08/11	[Gantt bar from Jul 14 to Aug 24]																								
24	Ensayos al concreto Fresco Consistencia (ASTM C 1170), Temperatura (ASTM C 1064) y tiempos de fraguado del concreto (ASTM C 1170)	30 días	jue 14/07/11	mié 24/08/11	[Gantt bar from Jul 14 to Aug 24]																								
25	Ensayos al concreto endurecido Resistencia (ASTM C 1170) y Módulo de Elasticidad (ASTM C 1170) y el Martillo Vibrocompactador (ASTM C 1435)	30 días	jue 14/07/11	mié 24/08/11	[Gantt bar from Jul 14 to Aug 24]																								
26	Ensayos al concreto endurecido	55 días	lun 25/07/11	lun 10/10/11	[Gantt bar from Jul 25 to Oct 10]																								
27	Ruptura de cilindros a 7, 28 y 56 días (ASTM C 39)	55 días	lun 25/07/11	lun 10/10/11	[Gantt bar from Jul 25 to Oct 10]																								
28	Módulo de Elasticidad (ASTM C 469) y Velocidad de Pulso al Concreto (ASTM C 597)	55 días	lun 25/07/11	lun 10/10/11	[Gantt bar from Jul 25 to Oct 10]																								



ANEXO D:

**PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CCR
UTILIZADAS EN LABORATORIO**



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 01 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Material	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	72.86	2.91
Arena	2.47	4.20	11.44	632.8	705.19	28.21
Grava	2.60	2.20	4.56	1106.8	1157.27	46.29
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
1	AM-1 a AM-3	AV-1 a AV-3	0.48	9	26.1
2	AM-4 a AM-6	AV-4 a AV-6	0.48	9	26.2
3	AM-7 a AM-9	AV-7 a AV-9	0.48	9	25.9
4	AM-10 a AM-12	AV-10 a AV-12	0.48	9	26.0
5	AM-13 a AM-15	AV-13 a AV-15	0.47	8	26.1



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 08 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	87.63	3.51
Arena	2.47	4.20	12.50	632.8	711.90	28.48
Grava	2.60	2.20	2.62	1106.8	1135.80	45.43
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
6	AM-16 a AM-18	AV-16 a AV-18	0.47	8	25.8
7	AM-19 a AM-21	AV-19 a AV-21	0.48	9	26.1
8	AM-22 a AM-24	AV-22 a AV-24	0.48	9	26.0
9	AM-25 a AM-27	AV-25 a AV-27	0.48	9	26.2
10	AM-28 a AM-30	AV-28 a AV-30	0.48	9	25.9



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro de Investigaciones ISCYC

Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espinos y Boulevard Sur, Antiguo
 Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 09 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	113.14	4.53
Arena	2.47	4.20	10.48	632.8	699.12	27.96
Grava	2.60	2.20	1.47	1106.8	1123.07	44.92
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
11	AM-31 a AM-33	AV-31 a AV-33	0.47	8	25.9
12	AM-34 a AM-36	AV-34 a AV-36	0.47	8	25.9



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 10 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	107.59	4.30
Arena	2.47	4.20	9.38	632.8	692.16	27.69
Grava	2.60	2.20	2.60	1106.8	1135.58	45.42
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
13	AM-37 a AM-39	AV-37 a AV-39	0.48	9	25.8
14	AM-40 a AM-42	AV-40 a AV-42	0.48	8	26.0
15	AM-43 a AM-45	AV-43 a AV-45	0.48	9	26.1



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 11 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	96.80	3.87
Arena	2.47	4.20	11.19	632.8	703.61	28.14
Grava	2.60	2.20	2.54	1106.8	1134.91	45.40
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
16	AM-46 a AM-48	AV-46 a AV-48	0.48	9	26.0
17	AM-49 a AM-51	AV-49 a AV-51	0.48	10	26.0
18	AM-52 a AM-54	AV-52 a AV-54	0.48	9	26.1
19	AM-55 a AM-57	AV-55 a AV-57	0.48	9	26.2
20	AM-58 a AM-60	AV-58 a AV-60	0.48	9	25.9



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 16 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	122.10	4.88
Arena	2.47	4.20	8.05	632.8	683.74	27.35
Grava	2.60	2.20	2.05	1106.8	1129.49	45.18
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
21	AM-01 a AM-03	AV-01 a AV-03	0.48	9	25.9
22	BM-01 a BM-03	BV-01 a BV-03	0.47	8	26.1
23	BM-04 a BM-06	BV-04 a BV-06	0.47	8	26.2
24	BM-07 a BM-09	BV-07 a BV-09	0.47	9	26.1
25	BM-10 a BM-12	BV-10 a BV-12	0.47	9	26.1

OBSERVACIONES: Los Cilindros de la Bachada N° 21 fueron elaborados para el ensayo de Módulo de Elasticidad



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 18 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	112.88	4.52
Arena	2.47	4.20	8.02	632.8	683.55	27.34
Grava	2.60	2.20	2.90	1106.8	1138.90	45.56
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
26	BM-13 a BM-15	BV-13 a BV-15	0.48	10	26.3
27	BM-16 a BM-18	BV-16 a BV-18	0.48	10	26.1
28	BM-19 a BM-21	BV-19 a BV-21	0.48	9	26.3
29	BM-22 a BM-24	BV-22 a BV-24	0.48	9	26.4
30	BM-25 a BM-27	BV-25 a BV-27	0.48	9	26.0
31	BM-28 a BM-30	BV-28 a BV-30	0.47	9	26.3
32	BM-31 a BM-33	BV-31 a BV-33	0.47	8	26.4



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 29 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	105.38	4.22
Arena	2.47	4.20	10.71	632.8	700.57	28.02
Grava	2.60	2.20	2.04	1106.8	1129.38	45.18
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
33	BM-34 a BM-36	BV-34 a BV-36	0.46	9	26.4
34	BM-37 a BM-39	BV-37 a BV-39	0.46	8	26.1
35	BM-40 a BM-42	BV-40 a BV-42	0.46	9	26.2
36	BM-43 a BM-45	BV-43 a BV-45	0.48	9	26.5
37	BM-46 a BM-48	BV-46 a BV-48	0.48	10	26.1



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 30 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	91.22	3.65
Arena	2.47	4.20	10.97	632.8	702.22	28.09
Grava	2.60	2.20	3.17	1106.8	1141.89	45.68
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
38	BM-49 a BM-51	BV-49 a BV-51	0.48	9	26.6
39	BM-52 a BM-54	BV-52 a BV-54	0.48	9	26.7
40	BM-55 a BM-57	BV-55 a BV-57	0.48	10	26.4



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 31 DE AGOSTO DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	85.12	3.40
Arena	2.47	4.20	10.99	632.8	702.34	28.09
Grava	2.60	2.20	3.71	1106.8	1147.86	45.91
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
41	BM-58 a BM-60	BV-58 a BV-60	0.48	10	26.1
42	BM-01 a BM-03	BV-01 a BV-03	0.48	10	26.2
43	CM-01 a CM-03	CV-01 a CV-03	0.47	9	26.3
44	CM-04 a CM-06	CV-04 a CV-06	0.47	8	26.4
45	CM-07 a CM-09	CV-07 a CV-09	0.47	8	26.2

OBSERVACIONES: Los Cilindros de la Bachada N° 42 fueron elaborados para el ensayo de Módulo de Elasticidad



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 01 DE SEPTIEMBRE DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Material	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	109.00	4.36
Arena	2.47	4.20	11.10	632.8	703.04	28.12
Grava	2.60	2.20	1.49	1106.8	1123.29	44.93
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
46	CM-10 a CM-12	CV-10 a CV-12	0.48	10	27.3
47	CM-13 a CM-15	CV-13 a CV-15	0.48	10	27.3
48	CM-01 a CM-03	CV-01 a CV-03	0.48	9	26.1

OBSERVACIONES: Los Cilindros de la Bachada N° 48 fueron elaborados para el ensayo de Módulo de Elasticidad



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE CEMENTO: HE (ASTM C-1157)

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL: 3/4

RELACION A/C: 0.48

FECHA: 07 DE SEPTIEMBRE DE 2011

MEZCLA ÓPTIMA PARA LABORATORIO

Materiales	Gravedad Específica	Absorción (%)	Humedades (%)	Consumo (kg/m ³)	Correcciones por Humedades (kg/m ³)	Para 0.040 m ³
Cemento	2.94			301.7	302.44	12.10
Agua				144.8	92.72	3.71
Arena	2.47	4.20	12.22	632.8	710.13	28.41
Grava	2.60	2.20	2.32	1106.8	1132.48	45.30
Suma				2186.1	2237.77	

MEZCLA PRODUCIDA

CORRELATIVO DE MEZCLA PRODUCIDA	N° CILINDRO		A/C	TIEMPO VEBE (s)	TEMP. (°C)
49	CM-16 a CM-18	CV-16 a CV-18	0.47	8	27.4
50	CM-19 a CM-21	CV-19 a CV-21	0.47	9	27.4

ANEXO E:

**RESULTADOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DEL
CONCRETO EN ESTADO FRESCO**



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
CV-1	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CV-2	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
CV-3	31/08/2011	7	280	0.47	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
CV-4	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CV-5	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
CV-6	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
CV-7	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
CV-8	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CV-9	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
CV-10	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
CV-11	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
CV-12	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
CV-13	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
CV-14	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
CV-15	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CV-16	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
CV-17	07/09/2011	7	280	0.47	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
CV-18	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
CV-19	07/09/2011	7	280	0.47	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
CV-20	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
CV-21	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BV-1	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-2	16/08/2011	28	280	0.47	10	22.85	12.85	5461.90	2352.66
BV-3	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-4	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BV-5	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-6	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-7	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-8	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-9	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-10	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-11	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-12	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
BV-13	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
BV-14	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BV-15	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BV-16	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-17	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-18	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-19	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-20	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BV-21	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BV-22	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-23	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
BV-24	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-25	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-26	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BV-27	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.18	13.18	5461.90	2413.08
BV-28	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
BV-29	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-30	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BV-31	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BV-32	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-33	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BV-34	29/08/2011	28	280	0.46	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
BV-35	29/08/2011	28	280	0.46	10	22.85	12.85	5461.90	2352.66
BV-36	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-37	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-38	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-39	29/08/2011	28	280	0.46	10	22.95	12.95	5461.90	2370.97
BV-40	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BV-41	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.18	13.18	5461.90	2413.08
BV-42	29/08/2011	28	280	0.46	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
BV-43	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BV-44	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-45	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-46	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BV-47	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-48	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BV-49	30/08/2011	28	280	0.48	10	22.85	12.85	5461.90	2352.66
BV-50	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BV-51	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-52	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BV-53	30/08/2011	28	280	0.48	10	22.95	12.95	5461.90	2370.97
BV-54	30/08/2011	28	280	0.48	10	22.60	12.60	5461.90	2306.89
BV-55	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BV-56	30/08/2011	28	280	0.48	10	22.85	12.85	5461.90	2352.66
BV-57	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
BV-58	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
BV-59	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BV-60	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AV-1	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-2	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-3	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-4	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-5	01/08/2011	56	280	0.48	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
AV-6	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-7	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-8	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-9	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-10	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-11	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-12	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-13	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-14	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AV-15	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AV-16	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-17	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-18	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-19	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-20	08/08/2011	56	280	0.48	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
AV-21	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-22	08/08/2011	56	280	0.48	10	22.90	12.90	5461.90	2361.82
AV-23	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-24	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-25	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-26	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AV-27	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-28	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-29	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-30	08/08/2011	56	280	0.48	10	22.80	12.80	5461.90	2343.51
AV-31	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
AV-32	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-33	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-34	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
AV-35	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-36	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
AV-37	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-38	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AV-39	10/08/2011	56	280	0.48	10	22.80	12.80	5461.90	2343.51
AV-40	10/08/2011	56	280	0.48	10	22.95	12.95	5461.90	2370.97
AV-41	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
AV-42	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-43	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-44	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
AV-45	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
AV-46	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-47	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-48	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-49	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-50	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
AV-51	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-52	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C 1176)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AV-53	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-54	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
AV-55	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AV-56	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AV-57	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
AV-58	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
AV-59	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AV-60	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
CM-1	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
CM-2	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
CM-3	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CM-4	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
CM-5	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
CM-6	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CM-7	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CM-8	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
CM-9	31/08/2011	7	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CM-10	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CM-11	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
CM-12	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CM-13	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
CM-14	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CM-15	01/09/2011	7	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
CM-16	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CM-17	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.45	13.45	5461.90	2462.51
CM-18	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
CM-19	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
CM-20	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
CM-21	07/09/2011	7	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BM-1	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BM-2	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BM-3	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BM-4	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-5	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-6	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-7	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-8	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-9	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-10	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.07	13.07	5461.90	2392.94
BM-11	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.18	13.18	5461.90	2413.08
BM-12	16/08/2011	28	280	0.47	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BM-13	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.59	13.59	5461.90	2488.15
BM-14	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.59	13.59	5461.90	2488.15
BM-15	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.23	13.23	5461.90	2422.23
BM-16	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-17	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.45	13.45	5461.90	2462.51
BM-18	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-19	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-20	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-21	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-22	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BM-23	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-24	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.25	13.25	5461.90	2425.90
BM-25	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-26	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05



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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BM-27	18/08/2011	28	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BM-28	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-29	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-30	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.38	13.38	5461.90	2449.70
BM-31	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-32	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BM-33	18/08/2011	28	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-34	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-35	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BM-36	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-37	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-38	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-39	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-40	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
BM-41	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BM-42	29/08/2011	28	280	0.46	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BM-43	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
BM-44	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.22	13.22	5461.90	2420.40
BM-45	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-46	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
BM-47	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.05	13.05	5461.90	2389.28
BM-48	29/08/2011	28	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
BM-49	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.50	13.50	5461.90	2471.67
BM-50	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.45	13.45	5461.90	2462.51
BM-51	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.50	13.50	5461.90	2471.67
BM-52	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
BM-53	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-54	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.45	13.45	5461.90	2462.51
BM-55	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-56	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
BM-57	30/08/2011	28	280	0.48	10	23.15	13.15	5461.90	2407.59
BM-58	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
BM-59	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.20
BM-60	31/08/2011	28	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AM-1	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.44	13.44	5461.90	2459.95
AM-2	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.38	13.38	5461.90	2450.06
AM-3	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.39	13.39	5461.90	2452.08
AM-4	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2452.99
AM-5	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.41	13.41	5461.90	2455.92
AM-6	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.11	13.11	5461.90	2401.00
AM-7	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.16	13.16	5461.90	2409.97
AM-8	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.39	13.39	5461.90	2450.98
AM-9	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.38	13.38	5461.90	2450.06
AM-10	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.33	13.33	5461.90	2440.91
AM-11	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.35	13.35	5461.90	2444.94
AM-12	01/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-13	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-14	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-15	01/08/2011	56	280	0.47	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-16	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-17	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-18	08/08/2011	56	280	0.47	10	23.50	13.50	5461.90	2471.67
AM-19	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-20	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-21	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-22	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-23	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-24	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-25	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-26	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AM-27	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-28	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-29	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-30	08/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-31	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.50	13.50	5461.90	2471.67
AM-32	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-33	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-34	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-35	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-36	09/08/2011	56	280	0.47	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-37	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-38	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-39	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-40	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-41	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-42	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-43	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.30	13.30	5461.90	2435.05
AM-44	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-45	10/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74
AM-46	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-47	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-48	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-49	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-50	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-51	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-52	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C 1435)

Nº de cilindro	Fecha de elaboración	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	a/c	Peso del molde (kg)	Peso del molde + concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Volumen del molde (cm ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
AM-53	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.10	13.10	5461.90	2398.43
AM-54	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-55	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.00	13.00	5461.90	2380.12
AM-56	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-57	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.50	13.50	5461.90	2471.67
AM-58	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-59	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.40	13.40	5461.90	2453.36
AM-60	11/08/2011	56	280	0.48	10	23.20	13.20	5461.90	2416.74

ANEXO F:

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE
ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE
POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD
ELABORADOS SEGÚN ASTM C 1435**



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
 ASTM C-469**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 08 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: CM-2 Edad: 7 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero CM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 46040
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 18416

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	1470	4	0	56	0
2	1510	4	0	55	0
3					
Promedio:	1490	4	0	55.5	0

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ϵ_2	Esfuerzo (S ₁) por ϵ_1	ϵ_2 por S ₂	ϵ_2 por S ₂	ϵ_1 por S ₁
1	102.84	8.21	0.000350	0.000000	0.00000000
2	102.84	8.43	0.000344	0.000000	0.00000000
3					
Promedio:	102.84	8.32	0.000347	0.000000	0.00000000

Moódulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.18E+05	0.000



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



**MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACION DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESION
 ASTM C-469**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 08 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especimen N°: CM-3 Edad: 7 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero CM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 46040
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 18416

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2090	4	0	58	0
2	1710	4	0	56	0
3					
Promedio:	1900	4	0	57	0

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	102.84	11.67	0.000363	0.000000	0.00000000
2	102.84	9.55	0.000350	0.000000	0.00000000
3					
Promedio:	102.84	10.61	0.000356	0.000000	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.01E+05	0.000



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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 28 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: BM-2 Edad: 28 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero BM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 62610
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 25044

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

Nº Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2160	4	1	70	12
2	2150	4	1	72	12
3					
Promedio:	2155	4	1	71	12

CÁLCULOS

Nº Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	139.85	12.06	0.000438	0.000075	0.00000625
2	139.85	12.01	0.000450	0.000075	0.00000625
3					
Promedio:	139.85	12.03	0.000444	0.000075	0.00000625

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.25E+05	0.175



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



**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
 ASTM C-469**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 28 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: BM-3 Edad: 28 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero BM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 62610
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 25044

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

Nº Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	1780	4	0	73	7
2	1430	4	1	73	12
3	1740	4	1	73	12
Promedio:	1650	4	0.7	73	10.33

CÁLCULOS

Nº Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	139.85	9.94	0.000456	0.000044	0.00000000
2	139.85	7.99	0.000456	0.000075	0.00000625
3	139.85	9.72	0.000456	0.000075	0.00000625
Promedio:	139.85	9.21	0.000456	0.000065	0.00000417

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.22E+05	0.149



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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 11 de octubre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: AM-2 Edad: 56 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero AM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 73000
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 29200

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2290	4	0	80	15
2	2390	4	0	83	14
3					
Promedio:	2340	4	0	82	14.5

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	163.06	12.79	0.000500	0.000094	0.00000000
2	163.06	13.35	0.000519	0.000088	0.00000000
3					
Promedio:	163.06	13.07	0.000509	0.000091	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.27E+05	0.197



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



**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
 ASTM C-469**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 11 de octubre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: AM-3 Edad: 56 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero AM-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 73000
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 29200

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2020	4	0	79	14
2	2360	4	0	80	14
3					
Promedio:	2190	4	0	80	14

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	163.06	11.28	0.000494	0.000088	0.00000000
2	163.06	13.18	0.000500	0.000088	0.00000000
3					
Promedio:	163.06	12.23	0.000497	0.000088	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.38E+05	0.196

ANEXO G:

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE
ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON
DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD
ELABORADOS SEGÚN ASTM C 1176**



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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 08 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: CV-2 Edad: 7 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero CV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 47200
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 18880

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	1570	4	0	67	0
2	1460	4	0	68	0
3					
Promedio:	1515	4	0	67.5	0

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ϵ_2	Esfuerzo (S ₁) por ϵ_1	ϵ_2 por S ₂	ϵ_2 por S ₂	ϵ_1 por S ₁
1	105.43	8.77	0.000419	0.000000	0.00000000
2	105.43	8.15	0.000425	0.000000	0.00000000
3					
Promedio:	105.43	8.46	0.000422	0.000000	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
2.61E+05	0.000



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 08 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: CV-3 Edad: 7 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero CV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 47200
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 18880

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	1740	4	0	64	0
2	1640	4	0	64	0
3					
Promedio:	1690	4	0	64	0

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	105.43	9.72	0.000400	0.000000	0.00000000
2	105.43	9.16	0.000400	0.000000	0.00000000
3					
Promedio:	105.43	9.44	0.000400	0.000000	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
2.74E+05	0.000



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
 ASTM C-469**

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 28 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: BV-2 Edad: 28 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero BV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 66040
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 26416

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

Nº Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2130	4	0	78	10
2	2150	4	0	79	11
3					
Promedio:	2140	4	0	78.5	10.5

CÁLCULOS

Nº Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ϵ_2	Esfuerzo (S ₁) por ϵ_1	ϵ_2 por S ₂	ϵ_2 por S ₂	ϵ_1 por S ₁
1	147.51	11.89	0.000488	0.000063	0.00000000
2	147.51	12.01	0.000494	0.000069	0.00000000
3					
Promedio:	147.51	11.95	0.000491	0.000066	0.00000000

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.08E+05	0.149



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 28 de Septiembre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: BV-3 Edad: 28 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero BV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 66040
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 26416

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presión: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

Nº Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2260	4	1	76	10
2	2540	4	0	77	10
3	2580	4	1	77	11
Promedio:	2460	4	0.7	76.7	10.33

CÁLCULOS

Nº Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	147.51	12.62	0.000475	0.000063	0.00000625
2	147.51	14.18	0.000481	0.000063	0.00000000
3	147.51	14.41	0.000481	0.000069	0.00000625
Promedio:	147.51	13.74	0.000479	0.000065	0.00000417

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.12E+05	0.141



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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 11 de octubre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: AV-2 Edad: 56 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero AV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 73000
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 29200

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

N° Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2290	4	1	87	14
2	2420	4	0	86	14
3					
Promedio:	2355	4	0.5	87	14

CÁLCULOS

N° Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	163.06	12.79	0.000544	0.000088	0.00000625
2	163.06	13.51	0.000538	0.000088	0.00000000
3					
Promedio:	163.06	13.15	0.000541	0.000088	0.00000313

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.06E+05	0.172



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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



MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO A COMPRESIÓN
ASTM C-469

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 Solicitante: MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS
 Fecha de Ensayo: 11 de octubre de 2011

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS

Especímen N°: AV-3 Edad: 56 días
 Diámetro [cm]: 15.1 Área [cm²]: 179.1 (cilindro compañero AV-1)
 Carga máxima del Compañero (P) [kg]: 73000
 40 % de la Carga del Compañero [kg]: 29200

CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESÓMETRO-EXTENSÓMETRO

Altura efectiva del Compresómetro: 8
 Presición: 0.0001 Unidades: pulg
 Deformación Unitaria: 0.0000125
 Divisiones equivalentes (50E⁻⁶): 5 x 10⁻⁵

Nº Lectura	Carga [kg]: a (50E-6)	Deformación Axial (Lect. Gage)	Deformación Transversal (Lect. Gage)	Deformación Axial [40 % P]: (Lect. Gage)	Deformación Transversal [40 %]: (Lect. Gage)
1	2090	4	0	83	14
2	2030	4	1	82	14
3					
Promedio:	2060	4	0.5	83	14

CÁLCULOS

Nº Lectura	Esfuerzo (S ₂) por ε ₂	Esfuerzo (S ₁) por ε ₁	ε ₂ por S ₂	ε ₂ por S ₂	ε ₁ por S ₁
1	163.06	11.67	0.000519	0.000088	0.00000000
2	163.06	11.34	0.000513	0.000088	0.00000625
3					
Promedio:	163.06	11.50	0.000516	0.000088	0.00000313

Módulo Est. (kg/cm ²)	Razón de Poisson μ
3.25E+05	0.181

ANEXO H:

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE
PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO
A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD
ELABORADOS SEGÚN ASTM C 1176**



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO
ASTM C-597
V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS
 EDAD: 7 DIAS
 FECHA DE COLADO: 31 DE AGOSTO DE 2011
 FECHA DE ENSAYO: 07 DE SEPTIEMBRE DE 2011
 OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
CV-7	29.08	0.1928	150.83	12	1	0.305	0.0003	71	14085	6.47
CV-8	28.94	0.1928	150.10	12	1	0.305	0.0003	70.9	14104	6.44
CV-9	28.79	0.1928	149.33	12	1	0.305	0.0003	71.8	13928	6.24



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO
ASTM C-597
V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS
 EDAD: 28 DIAS
 FECHA DE COLADO: 31 DE AGOSTO DE 2011
 FECHA DE ENSAYO: 28 DE SEPTIEMBRE DE 2011
 OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
BV-58	29.01	0.1928	150.39	12	1	0.305	0.0003	69.2	14451	6.76
BV-59	28.66	0.1928	148.57	12	1	0.305	0.0003	70.2	14245	6.53
BV-60	28.65	0.1928	148.52	12	1	0.305	0.0003	69.5	14388	6.66



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro 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



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO

ASTM C-597

V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS

EDAD: 56 DIAS

FECHA DE COLADO: 10 DE AGOSTO DE 2011

FECHA DE ENSAYO: 06 DE OCTUBRE DE 2011

OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MESA VIBRATORIA (ASTM C-1176)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
AV-37	29.11	0.1928	151.45	12	1	0.305	0.0003	70.0	14286	6.70
AV-38	29.16	0.1928	151.24	12	1	0.305	0.0003	70.2	14245	6.61
AV-39	19.16	0.1928	151.24	12	1	0.305	0.0003	69.9	14306	6.61

ANEXO I:

RESULTADOS DEL ENSAYO DE VELOCIDAD DE
PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO
A 7, 28 Y 56 DÍAS DE EDAD
ELABORADOS SEGÚN ASTM C 1435



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO
ASTM C-597
V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS
 EDAD: 7 DIAS
 FECHA DE COLADO: 31 DE AGOSTO DE 2011
 FECHA DE ENSAYO: 07 DE SEPTIEMBRE DE 2011
 OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
CM-7	29.18	0.1928	151.37	12	1	0.305	0.0003	69.4	14409	6.77
CM-8	29.20	0.1928	151.46	12	1	0.305	0.0003	69.3	14430	6.83
CM-9	29.18	0.1928	151.34	12	1	0.305	0.0003	69.5	14388	6.73



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
Centro 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*



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO
ASTM C-597
V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"
 SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS
 EDAD: 28 DIAS
 FECHA DE COLADO: 31 DE AGOSTO DE 2011
 FECHA DE ENSAYO: 28 DE SEPTIEMBRE DE 2011
 OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
BM-58	29.37	0.1928	152.26	12	1	0.305	0.0003	67.8	14749	7.14
BM-59	29.36	0.1928	152.20	12	1	0.305	0.0003	67.2	14861	7.27
BM-60	29.24	0.1928	151.58	12	1	0.305	0.0003	67.9	14728	7.12



Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Centro 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



VELOCIDAD DE PULSO A TRAVES DEL CONCRETO

ASTM C-597

V METER (PULSO ULTRASONICO)

PROYECTO : TRABAJO DE GRADUACIÓN "CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

SOLICITANTE : MERLIN BAÑOS, TATIANA FLORES, ELDER SANTOS

TIPO DE ESPECÍMEN: CILINDROS

EDAD: 56 DIAS

FECHA DE COLADO: 10 DE AGOSTO DE 2011

FECHA DE ENSAYO: 06 DE OCTUBRE DE 2011

OBSERVACIONES: CILINDROS ELABORADOS CON MARTILLO VIBROCOMPACTADOR (ASTM C-1435)

HOJA DE LABORATORIO

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumétrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E)*10 ⁶ psi
					pie	m	km			
AM-37	29.36	0.1928	152.28	12	1	0.305	0.0003	70.1	14265	7.20
AM-38	29.26	0.1928	151.76	12	1	0.305	0.0003	70.6	14164	7.22
AM-39	29.41	0.1928	152.54	12	1	0.305	0.0003	69.0	14493	7.18