

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



**“EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE MÓDULOS DE  
RUPTURA PARA MEZCLAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO UTILIZADOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS  
APLICANDO GRANULOMETRÍA FULLER Y SHILSTONE”.**

PRESENTADO POR:

**FRANCISCO ELIEZAR DÍAZ GIL**

**FREDY ENRIQUE GRANADEÑO RAMOS**

**ELDER IVÁN SANTOS AVELAR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2013.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**Ph.D. ING. 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 MÓDULOS DE  
RUPTURA PARA MEZCLAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO UTILIZADOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS  
APLICANDO GRANULOMETRÍA FULLER Y SHILSTONE”.**

Presentado por

:

**FRANCISCO ELIEZAR DÍAZ GIL  
FREDY ENRIQUE GRANADEÑO RAMOS  
ELDER IVÁN SANTOS AVELAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

:

**ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES  
ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES  
ING. JOSE GUILLERMO MARTIN FLORES BARRIOS**

San Salvador, Octubre de 2013.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES**

**ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**

**ING. JOSE GUILLERMO MARTIN FLORES BARRIOS**

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS TODOPODEROSO** por bendecirnos, protegernos e iluminarnos en este camino que un día decidimos emprender y que hoy estamos culminando con éxito, los obstáculos fueron muchos, pero en su infinita misericordia Dios tenía un plan perfecto y nos regaló sabiduría e inteligencia para buscar una solución a cada uno de ellos y sacar adelante nuestro Trabajo de Graduación.

A nuestra querida e inolvidable **Alma Mater Universidad de El Salvador** por formarnos, capacitarnos y proveernos del conocimiento necesario para enfrentar el diario vivir como Profesionales y de esta manera colaborar y aportar en el desarrollo de nuestro País.

A la **Escuela de Ingeniería Civil** por forma parte de nuestra formación académica como profesionales de la Ingeniería Civil.

A la empresa **HOLCIM** por su colaboración y apoyo de manera desinteresada durante el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación, a través de información actualizada, asesoría técnica, proporcionamiento de materiales, equipo de laboratorio e instalaciones.

A los diferentes Profesionales de la Universidad de El Salvador y de la empresa HOLCIM, que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo brindándonos su apoyo para la elaboración de este trabajo de graduación, especialmente a:

Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides.

Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes.

Ing. José Guillermo Flores Barrios.

Ing. Mauricio Ernesto Valencia.

Ing. Mario Avelar.

Ing. Carlos Arévalo Ramos.

Dr. Edgar Armando Peña.

Ing. Evelio López.

Ing. Carlos Zaldaña.

Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo.

Ing. Jorge Rivera Flores

Ing. Cesar Vega.

Dr. Karla Mejía Colocho

Además, nuestros agradecimientos especiales aquellas personas que colaboraron incondicionalmente que de una u otra manera nos ayudaron durante el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación.

Tec. Carlos Edgardo Morataya (UES).

Tec. Henry Najo (HOLCIM).

Sra. Roxana Galicia (UES).

Srita. Leonor Ferman (UES)

Sr. Tomas Molina (UES).

Sr. Luis (UES)

A nuestros amigos y futuros colegas que contribuyeron en la realización de nuestro Trabajo de Graduación.

Rafael Eduardo Sánchez Blanco.

Verónica Daniela Mancuso Figueroa.

Oscar William Guerrero Abrego.

Carlos Cruz.

Marcela Stefany Ruiz López.

Milagro Beatriz Castañeda

Sergio Jasiel Portillo

Sigan adelante, toda lucha tiene su recompensa, *Muchas gracias por TODO Futuros Colegas.*

Sin la valiosa colaboración de cada uno de ustedes no habría sido posible llegar a la meta y cumplir con los objetivos trazados en nuestro Trabajo de Graduación. *Muchas Gracias por TODO.*

***Los Autores***

## DEDICATORIA

He llegado al final de una etapa más en vida, un sueño hecho realidad para mi persona, desde el momento en el que decidí inscribirme en esta carrera sabía que tenía que enfrentarme con grandes obstáculos; el día de hoy esos obstáculos los veo superados, gracias Dios por regalarme sabiduría y no apartar tu misericordia de mi vida, gracias por las personas que pusiste en mi camino y creyeron en mí, fueron como ángeles del cielo para mi vida, a todas esas personas agradezco y dedico este triunfo...

**A DIOS TODOPODEROSO**, por regalarme sabiduría y la inteligencia necesaria para culminar con éxito mi carrera profesional, eres lo máximo Dios, tu fidelidad es grande y tu misericordia es eterna, gracias por estar conmigo en todo momento, gracias por regalarme la vida, cuidarme y protegerme durante todo este tiempo de estudio, gracias por demostrarme que tus promesas son reales ya que tú eres el principal hechor de este logro, toda la honra y gloria sea para ti mi DIOS.

**A MI MADRE, Luisa Gil** por todo el apoyo y los consejos durante mis años de estudio, gracias mamá por ser una mujer sabia, agradezco a Dios por regalarme una mujer virtuosa, una mujer fuerte que un día partió a un lugar lejano en busca de un mejor futuro para sus hijos, Te amo mamá, gracias por ese sacrificio, este triunfo lo dedico a ti.

**A MIS HERMANAS, Claudia Gil** por ser como una mamá , gracias por tus consejos y por darme el ánimo de seguir adelante y no rendirme, tus palabras siempre llegaron en el momento indicado hermana mayor, **Isalia Gil** por tu apoyo y por creer en mí, gracias por mostrarme un ejemplo de disciplina y aplicación para todas las áreas de la vida, gracias por tus consejos hermana, **Roció Gil** por todo el apoyo brindado durante estos años, todo se complementa con el cariño que posees hermana menor, Gracias le doy a Dios porque tengo el privilegio de tener las 3 mejores hermanas, este triunfo lo dedico a ustedes.

A TODOS MIS FAMILIARES, especialmente a mi papá **Francisco Díaz**, mis sobrinitos (**Diego, Gaby, Mateo, Daniela y Valentina**), **Roberto Cornejo, Juan Ramón, Tía Ester, Tío Antonio, Tía Cristhy** (Q.E.P.D). Por sus palabras de apoyo y por creer en mis sueños.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, **Fredy Granadeño y Elder Santos** porque hemos superado todos los obstáculos que se nos presentaron en el Trabajo de Graduación, la verdad mejor equipo no pude haber tenido, gracias por vivir conmigo esta aventura, gracias por tenerme paciencia y por su amistad, Felicidades colegas lo logramos!!!

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS que de una u otra manera estuvieron apoyándome, **Jessica Vásquez, Xenia Vásquez, Meylin Carballo, Julio Girón, Marcela Ruiz, Reina Cruz, Lisset Pérez, Verónica Mancuso, Rafael Blanco, William Guerrero, Karla De León, Milagro Castañeda, Francisco Juárez, Jonathan Moran, Josué Nerio, Víctor León, Vlasty Cáceres, Franklin Carranza, Tania Maltez, Jasiel Portillo, Ronald Arias, Natalia Molina, Marina Juárez, Andris Juárez**, a mis amigos de **ASEIAS, ASEIC** y también mis amigos del **Ministerio de Educación Especial**. A todos ustedes y todas esas personas que me apoyaron gracias por haber formado parte de este sueño que ahora se vuelve una realidad.

A **TODO EL STAFF DE DOCENTES**, que en algún momento formaron parte de mi proceso como Profesional, gracias por compartir conmigo sus valiosos conocimientos, desde mis profesores de Preparatoria, Educación Básica, Educación media, Educación Superior, **Ing. Edgar Gavidia, Ing. Dilber Sánchez, Ing. Guillermo Flores, Dr. Edgar Peña, Ing. Ranulfo Cárcamo**, quedo totalmente agradecido con ustedes, gracias por su amistad y apoyo.

Es de esta manera que cierro una etapa más en mi vida, creyendo fielmente que mejores cosas están por venir y con toda seguridad puedo declarar **“Jehová de los Ejércitos, dichoso el hombre que en ti confía” Salmos 84:12**

*Eliezar Gil*

## DEDICATORIA

He superado el reto más grande que me puse en mi vida, he cumplido con uno de mis grandes sueños... lograr ser un profesional y titularme como un Ingeniero Civil he llegado a la meta, somos muchos los que empezamos, pero pocos los que terminamos. El camino no ha sido fácil pero caminando de la mano de Dios con sacrificio y mucho esfuerzo mío y de todo los que me han brindado su apoyo puedo decirlo con plena convicción **LO HE LOGRADO!**

Lleno de muchas ilusiones inicie el más grande reto de mi vida...convencido que para lograr llegar al final hay que poner mucho esfuerzo, mucho sacrificio físico y mental

En medio del camino, Dios puso ángeles para ayudarme, y muchos de ellos se convirtieron en mis amigos, personas que aunque no conozco, me dieron su consejo, una voz de *seguí adelante, hay que ser perseverante* (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 DIOS TODO PODEROSO:** Por darme la vida y la sabiduría para culminar uno de mis sueños. Gracias señor porque nunca me has desamparado, has estado conmigo en los momentos más difíciles de mi existencia, Gracias **Jesús Cautivo** sé que para ti nada es imposible, gracias señor por tu amor.

**A MIS PADRES: Edith Dinora Ramos de Granadeño y Fredy Enrique Granadeño Díaz,** por haberme inculcado desde niño buenos principios y el deseo de superación, por brindarme amor y su apoyo incondicional para poder culminar mi carrera, les dedico mi esfuerzo gracias por haber confiado en mí. Los amo mucho.

**A MI HERMANA: Ingrid Karen Granadeño Ramos** por darme ánimos de seguir adelante cuando más lo necesitaba y por el apoyo que me brindo a cada momento, por ser mi mamá de lunes a viernes.

**A MI SOBRINITA: Karla Valeria Corvera Granadeño,** como una muestra de mi amor y cariño por brindarme momentos de alegría, y además por esos momentos en los que nos tocó sacrificar juegos y diversiones.

A MI NOVIA: **Cecilia Beatriz Panameño**, por brindarme su apoyo y amor en todo momento, por escucharme y estar conmigo en momentos de alegrías y tristezas.

A MIS ABUELOS: **Marta Castillo de Ramos “Lita”** (Q.D.D.G.) y **Carlos Ramos “Lito”** (Q.D.D.G.). Por su amor, sabios consejos y protección desde el cielo; **Lidia de Granadeño “Abue-Helada”** y **Miguel Ángel Granadeño** Por su amor y sabios consejos que me han ayudado mucho a lo largo de mi vida. *Viejitos lo LOGRE!*

A MIS TIOS: **Mirna de Granadeño, Reina Silvia Ramos, Carlos Granadeño, Willian Granadeño**, que pusieron su granito de arena, pero que fue de gran ayuda para poder llegar a mi objetivo propuesto.

A MIS AMIGOS: A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron y contribuyeron de manera desinteresada, ayudándome a la obtención de este triunfo.

A MI FAMILIA: Por el apoyo y motivación que me han dado, ya que cada uno de ellos me ha brindado en más de algún momento su ayuda y colaboración, por lo tanto mil gracias.

A MIS AMIGOS: **William Guerrero, Rafael Blanco, Marcela Ruiz, Raúl Corvera, Verónica Mancuso, Jasiel, Judo, Milagro** 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 MIS COMPAÑEROS: **Eliezar Gil (Gido)** y **Elder Santos (El Comandante)**, por la amistad que logramos obtener, por la comprensión y apoyo que me brindaron durante los momentos críticos del desarrollo de nuestra investigación, así también por los momentos divertidos que pasamos juntos.

A MIS ASESORES: **Ing. Dilber Sánchez, Ing. Edgar Gavidia e Ing. Guillermo Flores**, por el tiempo, apoyo, orientación y dedicación brindada a lo largo de este trabajo, gracias por su esfuerzo y amistad.

***“PIENSA POSITIVO Y COSECHARÁS GRANDES EXITOS***

***JAMAS TE DES POR VENCIDO.....”***

***Fredy Granadeño.***

## DEDICATORIA

*Proclama mi alma la grandeza del Señor y mi espíritu se alegra en Dios mi Salvador (Lucas 1,46-47)*

### DEDICO ESTE TRABAJO:

A **Dios Trino**, por haberme regalado la vida, fortaleza, confianza y la sabiduría necesaria para salir adelante en este camino de preparación académica y porque he sido testigo de que siempre mostró su bondad, su rectitud y su auxilio en los momentos más difíciles que tuve que enfrentar durante estos años de estudio, pues sé que me escogió desde el seno de mi madre y por pura bondad le agradó llamarme y me regalo un espíritu firme y valiente para superar todos los obstáculos que pude haber enfrentado, alcanzando así el final de este camino. Agradezco la intercesión de la bienaventurada siempre **Virgen María**, mi patrono; **el Apóstol Santo Tomás**.

Agradezco también a los ángeles que Dios puso en mi camino para ayudarme de uno u otra manera y me refiero especialmente:

A MI MADRE, **Ángela Tita Avelar**, siempre estuvo atenta a mis necesidades humanas y materiales, mostrándome su amor y su confianza de madre.

A MI PADRE, **Daniel Santos**, porque desde la distancia me enseñó, me inculcó el valor de ser responsable, dándome siempre su apoyo incondicional. A ustedes les dedico esta meta alcanzada queridos padres, deben saber que nunca existirá forma alguna de agradecer el sacrificio y esfuerzo que han hecho por mí, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes; infinitas gracias.

A MIS HERMANOS, **Zenayda Santos, Karina Santos y Daniel Santos**, por su ayuda y apoyo en todo momento, siempre han estado allí; muchas gracias hermanos y vaya para ustedes también este objetivo logrado pues siempre creyeron en mí.

A MIS SOBRINITOS: **Pinita, Danielita, Valentina y Angelito**, como una muestra de mi amor y cariño que les guardo, pues fueron motivo para salir adelante siempre.

A MI ABUELITA, **Marta Santos**, que de una u otra manera siempre estuvo pendiente de mí, mostrándome su amor y dándome consejos.

A TODOS MIS FAMILIARES, en especial a mi **tía Juanita Santos**, por su apoyo en gran medida para seguir adelante, a mis primas **Roxana Avelar, Lucia Avelar y Elder Santos(Tocayo)**, porque me han acompañado en esta travesía de una u otra manera y siempre me han mostrado su comprensión y apoyo en todo momento.

A MI NOVIA, **Taty Morales**, porque sé que Dios se ha manifestado a través de ti y me ha mostrado su amor infinito, gracias “Pinguina” por tu amor y comprensión, gracias por tus consejos, gracias por enseñarme muchas cosas.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, **Elio Díaz (“Guido”) y Fredy Granadeño (“El chino maquilero”)**, por lo que hemos conseguido juntos, somos un gran equipo compañeros pues lo demostraron al haberme entendido, comprendido y tolerado durante el desarrollo de este Trabajo de Graduación. **Adelante colegas!**

A MIS HERMANOS DE COMUNIDAD: **Guadalupe Avelar, Geovany Segovia, Yaneth Alvarado, Tita Ponce, Sofía Chacón, Tanchito Ramírez, Beto Landaverde, Norma Regalado, Lorena Regalado, Glorita Henríquez, Rosa Emilia (Q.E.P.D.), Milagro Borja (Q.E.P.D.), Conchita Ponce (Q.E.P.D.), Rosario Valle (Q.E.P.D.) y demás hermanos**, quienes siempre estuvieron muy cerca de mí, apoyándome espiritualmente con sus ánimos.

A MIS AMIGOS: **Lisandra Soriano, Verónica Mancuso, Diana Ayala, Merlín Baños, Tatí Flores, Rafael Sánchez Blanco, Carlos Cruz, Frank Carranza, Frank Burgos, Pablo Campos, Ronald Arias, Jonathan Moran, Marcela Ruiz, Alex, Vlastimila, Ángel, Felipe, Haziél, William Guerrero, Samuel Rodas, Julio Cardoza y demás amigos que siempre estuvieron conmigo a lo largo de toda mi formación académica.** Gracias por compartir su amistad, Dios los bendiga en todos sus proyectos y metas en su vida.

DE MANERA ESPECIAL AGRADEZCO A MIS PROFESORES: **Prof. Juan José Francisco Tobar, Ing. Susan Campos, Ing. Dilber Sánchez, Ing. Edgar Gavidia, Ing. Guillermo Flores, Ing. Mauricio Valencia, Ph.D. Edgar Peña, Ing. Evelio López.** Gracias por compartir sus valiosos conocimientos y por su apoyo, amistad y cariño.

**“Si el Señor no construye la casa, en vano se cansan los albañiles” -Salmo 126-**

*Elder Iván Santos Avelar*

# INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>XXIV</b>
----------------	-------------

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

1.1	<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
1.2	<b>ANTECEDENTES</b>	4
1.3	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	6
1.4	<b>OBJETIVOS</b>	8
1.4.1	OBJETIVO GENERAL	8
1.4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
1.5	<b>ALCANCES</b>	10
1.6	<b>LIMITACIONES</b>	11
1.7	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	13

## **CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL CONCRETO**

2.1	<b>GENERALIDADES DEL CONCRETO</b>	16
2.1.1	COMPOSICIÓN DEL CONCRETO	16
2.1.2	PROPORCIONAMIENTO DE COMPONENTES	17
2.2	<b>AGREGADOS</b>	18
2.2.1	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS	21
2.2.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	26
2.2.3	PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACÍOS	31
2.2.4	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN	32
2.2.5	RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA	35

	DE LOS ANGELES	
2.2.6	SANIDAD DE LOS AGREGADOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO	36
2.2.7	IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO	37
2.2.8	PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS	39
2.3	<b>CEMENTO</b>	40
2.3.1	PROPIEDADES DEL CEMENTO	40
2.3.2	TIPOS DE CEMENTO	43
2.4	<b>AGUA</b>	44
2.4.1	CALIDAD DEL AGUA	46
2.5	<b>ADITIVOS</b>	49

### **CAPÍTULO III: MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

3.1	<b>GENERALIDADES SOBRE LOS PAVIMENTOS</b>	54
3.1.1	DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS	55
3.1.2	ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS	56
3.2	<b>COMPOSICIÓN DEL CONCRETO</b>	62
3.2.1	CEMENTO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	63
3.2.1.1	TIPOS DE CEMENTO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	63
3.2.2	AGREGADOS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	64
3.2.2.1	FORMA DE LOS AGREGADOS	64
3.2.2.2	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	66
3.2.2.3	GRANULOMETRIA	67
3.2.2.3.1	GRANULOMETRÍA FULLER	71
3.2.2.3.2	GRANULOMETRÍA SHILSTONE	78
3.3	<b>CARACTERISTICAS</b>	87

3.3.1	REVENIMIENTO	87
3.3.2	RELACION AGUA/CEMENTO	89
3.3.3	CONTENIDO DE AIRE	91
3.3.4	TEMPERATURA	93
3.3.5	CONDICIONES CLIMATOLOGICAS	94

## **CAPÍTULO IV: TRABAJO DE LABORATORIO**

4.1	<b>INTRODUCCIÓN</b>	106
4.2	<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL</b>	107
4.3	<b>ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR</b>	109
4.3.1	ETAPA I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZAR	109
4.3.1.1	AGREGADOS	110
4.3.1.2	CEMENTO	111
4.3.1.3	AGUA	112
4.3.1.4	ADITIVO	112
4.3.2	ETAPA II: PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA	113
4.3.3	ETAPA III: DISEÑO DE LA MEZCLA	144
4.3.4	ETAPA IV: HECHURA DE LA MEZCLA Y ELABORACIÓN DE ESPECIMENES DE CONCRETO	151
4.3.5	ETAPA V: ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO	162
4.3.6	ETAPA VI: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO	179
4.3.7	ETAPA VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS	188

## **CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS**

5.1	<b>GENERALIDADES</b>	190
5.2	<b>RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS</b>	191

<b>COMPONENTES DE LA MEZCLA</b>		
5.3	<b>CÁLCULO DEL DISEÑO DE LA MEZCLA</b>	203
5.4	<b>CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA</b>	208
5.5	<b>DISEÑO TEÓRICOS PREELIMINARES</b>	209
5.6	<b>REPRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS DE LABORATORIO</b>	222

## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

6.1	<b>GENERALIDADES</b>	245
6.2	<b>PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO</b>	246
6.2.1	RESULTADO DEL ENSAYO DE REVENIMIENTO	247
6.2.2	RESULTADO DEL ENSAYO DE TEMPERATURA	251
6.2.3	RESULTADO DEL ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO	256
6.3	<b>PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO</b>	261
6.3.1	RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	261
6.3.2	RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	278
6.3.3	RESULTADOS DE PESOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO	295
6.3.4	RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE RUPTURA	296

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>7.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>298</b>
<b>7.2</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>299</b>
<b>7.3</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>308</b>
	<b>GLOSARIO</b>	<b>317</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>324</b>

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO A</b>	<b>Carta de calidad del cemento tipo HE ASTM C 1157</b>	<b>335</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>Ensayo de calidad de los agregados</b>	<b>237</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>Carta Técnica del aditivo</b>	<b>349</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>Fotografías Trabajo de laboratorio</b>	<b>352</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL CONCRETO

Tabla 2.1	Cemento con adiciones activas según la norma ASTM C 595	43
Tabla 2.2	Cemento con adiciones activas según la norma ASTM C 1157	44
Tabla 2.3	Requerimiento de desempeño del concreto para el Agua de Mezclado.	48
Tabla 2.4	Limites químicos opcionales para el Agua de mezclado combinada.	48
Tabla 2.5	Clasificación de aditivos químicos según ASTM C494	50

### CAPÍTULO III: MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Tabla 3.1	Limites Granulométricos del Agregado Fino.	68
Tabla 3.2	Requisitos de Granulometría para Agregado Grueso.	70
Tabla 3.3	Matriz utilizada para la resolución del método Fuller.	77
Tabla 3.4	Rango de revenimiento de acuerdo a su consistencia	88
Tabla 3.5	Contenido de aires recomendados para concretos con aire incluido.	92

## CAPÍTULO IV: TRABAJO DE LABORATORIO

Tabla 4.1	Ensayos a realizar a los agregados	114
Tabla 4.2	Ensayos de los agregados para la verificación de calidad	114
Tabla 4.3	Peso de la muestra de ensayo para granulometría en función del tamaño máximo del agregado	122
Tabla 4.4	Peso mínimo de la muestra de ensayo para la determinación de la Gravedad Especifica del agregado grueso.	131
Tabla 4.5	Tamaño de muestra para agregado para contenido de humedad	135
Tabla 4.6	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para “Concretos para Pavimento”	147
Tabla 4.7	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para “Concretos Convencionales”	148
Tabla 4.8	Cantidades de los componentes de la mezcla para diferentes relaciones A/C	149
Tabla 4.9	Resultados que reflejan la tendencia de una curva de desempeño	150
Tabla 4.10	Número de Capas Requerido para Moldear Distintos Tipos de Especímenes	155

Tabla 4.11	Energía de Moldeo para Cilindros Estándar de 6"x12"	156
Tabla 4.12	Diámetro de varilla y número de pisonadas que deben aplicarse al moldear especímenes.	156
Tabla 4.13	Número de inserciones del vibrador por capa	158
Tabla 4.14	Diámetro de Varilla y Número de Inserciones que deben Aplicarse al Moldear Especímenes.	161
Tabla 4.15	Capacidad del recipiente para peso volumétrico del concreto fresco	176
Tabla 4.16	Método de Consolidación	176
Tabla 4.17	Número de golpes para varillado por capa	177
Tabla 4.18	Tolerancias permisibles según edad de ensayo a la compresión	184

## **CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS**

Tabla 5.1	Datos de Ensayos Proporciónados por HOLCIM.	191
Tabla 5.2	Ensayos a realizar a los agregados.	192
Tabla 5.3	Resultados de Ensayos Realizados.	192
Tabla 5.4	Resultado de Granulometría de agregado grueso 1.	193
Tabla 5.5	Resultado de granulometría de agregado grueso 2	195
Tabla 5.6	Resultado de granulometría de agregado fino	197
Tabla 5.7	Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto	199

	del agregado grueso 1.	
Tabla 5.8	Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso 1.	200
Tabla 5.9	Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado grueso 2.	201
Tabla 5.10	Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso 2.	202
Tabla 5.11	Porcentaje en peso para cada componente de la mezcla para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	204
Tabla 5.12	Porcentaje de agregados para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	205
Tabla 5.13	Porcentaje en peso para cada componente de la mezcla para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	206
Tabla 5.14	Porcentaje de agregados para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	207
Tabla 5.15	Característica de los materiales.	208
Tabla 5.16	Análisis Granulométrico Integral Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$	210
Tabla 5.17	Proporcionamiento volumétrico para un $\text{m}^3$ de concreto con una relación A/C = 0.50	211
Tabla 5.18	Análisis Granulométrico Integral Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$	212
Tabla 5.19	Proporcionamiento volumétrico para un $\text{m}^3$ de concreto con una relación A/C = 0.40	213
Tabla 5.20	Dosificación Final Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$	214
Tabla 5.21	Dosificación Final Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$	215
Tabla 5.22	Análisis Granulométrico Integral Shilstone	217

	$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$	
Tabla 5.23	Dosificación Final Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	218
Tabla 5.24	Análisis Granulométrico Integral Shilstone	219
	$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$	
Tabla 5.25	Dosificación Final Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	221
Tabla 5.26	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	222
Tabla 5.27	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	222
Tabla 5.28	Proporcionamiento corregidos por humedad y absorción.	223
Tabla 5.29	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	223
Tabla 5.30	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	224
Tabla 5.31	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	224
Tabla 5.32	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	225
Tabla 5.33	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	225
Tabla 5.34	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	226
Tabla 5.35	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	226
Tabla 5.36	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	226
Tabla 5.37	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	227
Tabla 5.38	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	227
Tabla 5.39	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	228

Tabla 5.40	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	228
Tabla 5.41	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	229
Tabla 5.42	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	229
Tabla 5.43	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	230
Tabla 5.44	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	230
Tabla 5.45	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	230
Tabla 5.46	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	231
Tabla 5.47	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	231
Tabla 5.48	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	231
Tabla 5.49	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	232
Tabla 5.50	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	232
Tabla 5.51	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	233
Tabla 5.52	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	233
Tabla 5.53	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	234
Tabla 5.54	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	234
Tabla 5.55	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	235
Tabla 5.56	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	235

Tabla 5.57	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	235
Tabla 5.58	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	236
Tabla 5.59	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	236
Tabla 5.60	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	237
Tabla 5.61	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	237
Tabla 5.62	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	238
Tabla 5.63	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	238
Tabla 5.64	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	239
Tabla 5.65	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	239
Tabla 5.66	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	240
Tabla 5.67	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	240
Tabla 5.68	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	241
Tabla 5.69	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	241
Tabla 5.70	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	242
Tabla 5.71	Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.	242
Tabla 5.72	Contenido de humedad para agregados grueso y fino.	242
Tabla 5.73	Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.	243

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 6.1	Requerimientos de pruebas de laboratorio al concreto fresco.	246
Tabla 6.2	Resultados de prueba de revenimiento para 28 días.	248
Tabla 6.3	Resultados de prueba de revenimiento para 7 días.	249
Tabla 6.4	Resumen de resultados ensayo de revenimiento.	250
Tabla 6.5	Resultados de prueba de temperatura para 28 días.	253
Tabla 6.6	Resultados de prueba de Temperatura para 7 días.	254
Tabla 6.7	Resumen de resultados prueba de temperatura.	255
Tabla 6.8	Resultados de prueba de peso volumétrico para 28 días.	258
Tabla 6.9	Resultados de prueba de peso volumétrico para 7 días.	259
Tabla 6.10	Resumen de resultados prueba pesos de volumétricos.	260
Tabla 6.11	Resultados promedio de Ensayos de Flexión.	262
Tabla 6.12	Tabulación de ensayos a Flexión Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	264
Tabla 6.13	Tabulación de ensayos a Flexión Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	265
Tabla 6.14	Tabulación de ensayos a Flexión Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	266
Tabla 6.15	Tabulación de ensayos a Flexión Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	267
Tabla 6.16	Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone	268

	$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	
Tabla 6.17	Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.272	269
Tabla 6.18	Tabulación de ensayos 273a Flexión Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	270
Tabla 6.19	Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	271
Tabla 6.20	Resultados promedio de Resistencia a Compresión.	279
Tabla 6.21	Tabulación de ensayos a compresión Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	281
Tabla 6.22	Tabulación de ensayos a compresión Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	282
Tabla 6.23	Tabulación de ensayos a compresión Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	283
Tabla 6.24	Tabulación de ensayos a compresión Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	284
Tabla 6.25	Tabulación de ensayos a compresión Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	285
Tabla 6.26	Tabulación de ensayos a compresión Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ para 28 días.	286
Tabla 6.27	Tabulación de ensayos a compresión Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ para 7 días.	287
Tabla 6.28	Tabulación de ensayos a compresión	288

Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Tabla 6.29	Pesos Volumétricos Viguetas.	295
Tabla 6.30	Pesos Volumétricos Cilindros.	295
Tabla 6.31	Relación $\frac{f'_c}{M_R}$ .	296

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tabla 7.1	Proporcionamiento para 1 m <sup>3</sup> Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	311
Tabla 7.2	Proporcionamiento para 1 m <sup>3</sup> Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	311
Tabla 7.3	Proporcionamiento para 1 m <sup>3</sup> Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	312
Tabla 7.4	Proporcionamiento para 1 m <sup>3</sup> Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	312

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL CONCRETO

Figura 2.1	Variación de porcentaje de ingredientes en diferentes mezclas de concreto Hidráulico.	18
Figura 2.2	Peso volumétrico promedio de un agregado utilizado para concreto convencional.	32
Figura 2.3	Carta de colores para impurezas orgánicas en arenas.	38

### CAPÍTULO III: MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Figura 3.1	Esquema básico de la estructura de un Pavimento Rígido.	59
Figura 3.2	Punto óptimo de la Forma de los Agregados.	65
Figura 3.3	Carta del Factor de Grosor y Trabajabilidad (Shilstone 1990).	81
Figura 3.4	Rango de trabajabilidad definido por US fuerza Aérea.	82
Figura 3.5	Grafico del porcentaje retenido.	84
Figura 3.6	Resistencia a la compresión esperada para distintas relaciones a/c	90

Figura 3.7	Máxima relación a/c para diseño de concreto por durabilidad.	90
Figura 3.8	Rapidez del agua al subir a la superficie.	95
Figura 3.9	Condiciones Climatológicas.	96
Figura 3.10	Uso del nomograma del ACI 305	99
Figura 3.11	Prácticas de protección del concreto.	102
Figura 3.12	Curado por membranas plásticas	103

## **CAPÍTULO IV: TRABAJO DE LABORATORIO**

Figura 4.1	Tamizador mecánico utilizado para arenas	123
Figura 4.2	Equipo para gravedad específica de los agregados	132
Figura 4.3	Determinación del peso volumétrico	143
Figura 4.4	Equipo para la hechura de especímenes de concreto	153
Figura 4.5	Moldes cilíndricos y espécimen cilíndrico de concreto	155
Figura 4.6	Elaboración de especímenes a la Flexión	161
Figura 4.7	Molde para revenimiento	165
Figura 4.8	Varillado de la primera capa para revenimiento	167

Figura 4.9	Varillado de última capa para revenimiento	168
Figura 4.10	Varillado de las diferentes capas para revenimiento	169
Figura 4.11	Registro de resultado del revenimiento	170
Figura 4.12	Ensayo de temperatura para el concreto fresco	172
Figura 4.13	Ensayo de flexión en vigas de concreto	180
Figura 4.14	Patrones de figuras típicos	187

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS

Figura 5.1	Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado grueso 1.	194
Figura 5.2	Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado grueso 2.	196
Figura 5.3	Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado fino.	198
Figura 5.4	Porcentaje en función de la masa total del agregado para Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$	214
Figura 5.5	Porcentaje en función de la masa total del agregado para Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$	216
Figura 5.6	Porcentaje en función de la masa total de los agregados para Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	219

Figura 5.7	Porcentaje en función de la masa total del agregado para Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	221
------------	---	-----

## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Figura 6.1	Ensayo de Revenimiento.	247
Figura 6.2	Ensayo de Temperatura.	252
Figura 6.3	Ensayo de Peso Volumétrico.	257
Figura 6.4	Ensayo de Resistencia a Flexión.	262
Figura 6.5	Tipos de Falla en especímenes sometidos a Flexión.	263
Figura 6.6	Ensayo de Resistencia a Compresión.	278
Figura 6.7	Tipos de falla en ensayo de compresión.	279

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO III: MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Gráfico 3.1	Ejemplos de ajustes granulométricos a curva Fuller	74
Gráfico 3.2	Combinación de agregados Gruesos	76

### CAPÍTULO IV: TRABAJO DE LABORATORIO

Gráfico 4.1	Ejemplo de curva de desempeño para diferentes $M_R$ vrs A/C	145
Gráfico 4.2	Peso volumétrico seco compactado	148
Gráfico 4.3	Curva de Desempeño o Curva de Tendencia a los 28 días	150
Gráfico 4.4	Curva de Desempeño o Curva de Tendencia promedio de resistencia a 7 y 28 días	151

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS

Gráfico 5.1	Curva Fuller para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	210
Gráfico 5.2	Curva Fuller para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	212
Gráfico 5.3	Carta Shilstone para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	217
Gráfico 5.4	Porcentajes retenidos para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	218
Gráfico 5.5	Carta Shilstone para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	220
Gráfico 5.6	Porcentajes retenidos para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	220

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Gráfico 6.1	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	272
Gráfico 6.2	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	273
Gráfico 6.3	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	273
Gráfico 6.4	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	274
Gráfico 6.5	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	274
Gráfico 6.6	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Shilstone	275

	$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 día	
Gráfico 6.7	$M_R$ Vrs No de Espécimn para Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	275
Gráfico 6.8	$M_R$ Vrs No de Espécimen para Shilstone $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	276
Gráfico 6.9	Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	277
Gráfico 6.10	Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	277
Gráfico 6.11	Porcentajes de Fallas observados	280
Gráfico 6.12	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	289
Gráfico 6.13	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	290
Gráfico 6.14	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	290
Gráfico 6.15	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Fuller $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	291
Gráfico 6.16	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	291
Gráfico 6.17	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Shilstone $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	292
Gráfico 6.18	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Shilstone	292

	$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.	
Gráfico 6.19	$f'_c$ Vrs No de Espécimen para Shilstone	293
	$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.	
Gráfico 6.20	Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para	294
	$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .	
Gráfico 6.21	Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para	294
	$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .	

## RESUMEN

La presente investigación comprende una comparación sobre dos metodologías granulométricas de concreto Hidráulico utilizadas en pavimentos rígidos denominada Fuller y Shilstone.

Estas metodologías no son nuevas, Fuller es una de las investigaciones granulométricas más fáciles y clásicas de utilizar creada en el año de 1907, mientras que Shilstone es una metodología más reciente creada en 1990 y establece la influencia que los agregados tienen en la estructura del concreto y en la resistencia del mismo.

Fuller plantea una granulometría óptima de los agregados la cual se sustenta usando una curva granulométrica de referencia establecida por el autor, Shilstone plantea el hecho de optimizar la granulometría la cual busca mejorar las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido.

Partiendo de estos puntos y además de no contar con un estudio comparativo entre ambas metodologías se plantea la necesidad de Evaluar y Comparar las metodologías Fuller y Shilstone, para poder determinar cuál de ellas posee mayores valores de resistencia a la Flexión, trabajabilidad.

La investigación se estructura de la siguiente manera: se elaboraran mezclas de concreto para dos distintos módulos de ruptura 37 y 45 kg/ cm<sup>2</sup> que son las resistencias más utilizadas en nuestro país; con esta resistencia se diseñará

especímenes de prueba para mezclas hechas de acuerdo a la especificación Fuller y luego manteniendo constantes las relaciones a/c en estas mezclas se elaborarán especímenes de prueba de mezclas de concreto dosificadas por especificación Shilstone.

Posteriormente para asegurar un estricto control de las características presentes del concreto tanto en estado fresco como endurecido se detallan a continuación las pruebas realizadas: ensayos al concreto fresco; temperatura, revenimiento, peso volumétrico, ensayos al concreto endurecido; resistencia a la Flexión, resistencia a la compresión. Para finalmente generar un análisis estadístico básico de resultados y determinar cuál de ambas metodologías ofrece mejores propiedades mecánicas a los 28 días, además de confirmar las ventajas en cuanto a la trabajabilidad y manejabilidad.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Graduación comprende las bases para la realización de la investigación: “EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE MÓDULOS DE RUPTURA PARA MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO UTILIZADOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS APLICANDO GRANULOMETRÍA FULLER Y SHILSTONE”. La construcción de carreteras de pavimentos rígidos de concreto Hidráulico ha tomado gran importancia en los últimos años en el mundo y en nuestro país; ganando aceptación debido a sus múltiples ventajas, como procesos constructivos, capacidad de carga, durabilidad de las obras, resistencias tempranas.

La implementación de concreto Hidráulico en la construcción de carreteras es cada vez más necesaria. Esto ocasionó que durante los últimos años en laboratorios de diferentes países se realizase gran variedad de investigaciones, con el objeto de identificar las optimización de ciertas propiedades, como la resistencia a la Flexión, estas investigaciones están basadas en análisis realizados en los diseños de mezclas utilizando diferentes especificaciones granulométricas que no son más que un proceso de optimización de agregados y así poder reducir la cantidad de cemento a utilizar y mejorar su calidad. El presente Trabajo de Graduación trata de desarrollar un análisis comparativo de mezclas de concreto Hidráulico utilizando metodologías Fuller y Shilstone. En nuestro país la aplicación de éstas es un punto de inflexión; debido a que una de ellas, la metodología Fuller es la más utilizada en proyectos carreteros mientras que la Shilstone

tiene muy poca aplicación, en el desarrollo de este Trabajo de Graduación se ha recolectado un amplio rango de información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación relacionados con las metodologías Fuller y Shilstone, que en el diseño de mezclas nos servirán como antecedentes y como base para la realización del mismo; posteriormente se mencionan los objetivos que se pretenden cumplir así como también los alcances que tendrá este Trabajo de Graduación, además de las limitaciones que se presentan para la realización de ésta investigación, luego se detalla en la justificación, los motivos por los cuales es necesario hacer la evaluación y comparación de los resultados de Módulos de Ruptura utilizando ambas granulometrías en las diferentes dosificaciones.

## 1.2 ANTECEDENTES

En El Salvador el diseño de mezclas de concreto Hidráulico para pavimentos rígidos ha sido elaborado con los lineamientos que establece el comité ACI 211.1 (Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal) o mediante la utilización de los métodos de dosificación basado en el contenido de cemento.

Dichos procedimientos consisten en el uso de la granulometría adecuada de los agregados fino y grueso, cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma ASTM C 33, éstos requisitos no proveen un análisis minucioso de cómo los agregados actúan en el concreto. Algunas veces, hay una carencia en el abastecimiento de agregados de tamaños medianos, aproximadamente 9.5 mm (3/8 pulg.), y debido a esto se producen efectos tales como alta contracción, alta demanda de agua, baja trabajabilidad y dificultad de colocación; la resistencia y la durabilidad también pueden verse afectadas, la granulometría ideal no existe en el campo pero se puede acercarse a ella considerando el uso de agregados de diferente tamaño o realizando tamizados especiales.

Las metodologías Fuller y Shilstone establecen los beneficios en cuanto a la utilización de agregados combinados. Entre éstas, la menos utilizada es la Shilstone; debido a que en nuestro medio actualmente existe una baja producción de agregados por parte de las plantas productoras para los diferentes tamaños establecidos por dicha especificación.

Fuller es quizás la más utilizada y fue creada en el año 1907 en los EUA (Estados Unidos de América). El método de Fuller es uno de los más clásicos y fáciles de aplicar, su uso está muy indicado en obras de concreto, que no se encuentren fuertemente armadas y que la forma de los agregados sea uniforme.

Shilstone por su parte es más reciente y establece la influencia que tienen los agregados en su estructura (tamaño, forma) y en la resistencia del concreto

A pesar de que se ha observado que concretos fabricados con agregados de diferentes formas y un contenido de cemento dado pueden alcanzar niveles de resistencia similares, algunos autores aseguran que los concretos producidos con agregados de forma redonda y cúbica tienden a producir mayores resistencias que agregados alargados y aplanados (Shilstone 1990).

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La granulometría de los agregados es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del concreto (la mayoría de los métodos de dosificación presentan especificaciones sobre las granulometrías óptimas que deben tener los agregados), puesto que constituyen su esqueleto y tienen gran influencia sobre sus propiedades. Desde los comienzos de la tecnología del concreto, los investigadores han dedicado un tiempo preferencial al estudio de las características granulométricas, la forma y textura del agregado; han relacionado estas características directamente con la compactación del agregado. La literatura proporciona investigaciones acerca de la especificación granulométrica Fuller, en donde se plantea una granulometría óptima de los agregados; en la cual se sustenta que usando una curva granulométrica adecuada se puede mejorar la resistencia mecánica y otras características del concreto fresco y endurecido, actualmente en las metodologías la más utilizadas es la Fuller debido a los beneficios en cuanto a la disponibilidad del tamaño máximo del agregado ya que la mayoría de plantas productoras presentan la facilidad para producirlas. Por otro lado la metodología Shilstone (1,990); plantea el hecho de la optimización granulométrica, en la cual se busca mejorar las propiedades mecánicas del concreto fresco y endurecido, actualmente la metodología para Shilstone no es muy utilizada ya que la mayoría de plantas productoras no producen el tamaño máximo del agregado que requiere esta especificación, además de no ser muy

reconocida. Partiendo de estos puntos se plantea la necesidad de evaluar y comparar ambas metodologías Fuller y Shilstone, ya que no se cuenta con estudios e investigaciones que determinen cuál de éstas, proporciona mejores valores de resistencia a la Flexión, al mismo tiempo la investigación trata confirmar las ventajas en cuanto a la trabajabilidad. Por lo tanto se pretende determinar cuál de ellas es la más factible a utilizar en la elaboración de mezclas de concreto Hidráulico utilizados para la construcción de pavimentos rígidos.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar y comparar los Módulos de Ruptura en mezclas de concreto Hidráulico, utilizados en pavimentos rígidos, aplicando granulometría Fuller y Shilstone.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Fundamentar los conocimientos teóricos sobre la dosificación de mezclas de concreto utilizando metodología Fuller y Shilstone.
- Diseñar mezclas de concreto Hidráulico para Módulos de Ruptura de 37, 45 kg/ cm<sup>2</sup> utilizando especificación Fuller y manteniendo constante la relación agua/cemento elaborar diseños de mezclas utilizando especificación Shilstone para ser ensayados a los 7 y 28 días.
- Determinar los ensayos al concreto fresco de temperatura, revenimiento y peso volumétrico bajo las normas ASTM C 1064 (Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado), ASTM C 143 (Ensayo estándar

para revenimiento del concreto fresco) y ASTM C 138 ( Ensayo estándar para peso volumétrico del concreto fresco).

- Elaborar especímenes para realizar ensayos a la Flexión al tercio medio bajo norma ASTM C 78.
  
- Analizar y comparar los resultados de diferentes ensayos a la Flexión obtenidos de los diferentes especímenes ensayados bajo las especificaciones Fuller y Shilstone.
  
- Determinar 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 y 28 días.

## 1.5 ALCANCES

Determinar la Resistencia a Flexión al tercio medio, para diferentes Módulos de Ruptura, para agregados triturado, con tamaño máximo nominal de 1.5" y tipo de cemento HE, según norma ASTM C 1157.

Dicha investigación está encaminada a determinar la resistencia a la Flexión de viguetas y compresión de cilindros a las edades de los 7 y 28 días.

La investigación se desarrollará siguiendo los procesos y lineamientos descritos según las normativas pertinentes a los diseños en estudio.

El diseño de mezclas se realizara para una resistencia a la Flexión de 37 y 45 kg/ cm<sup>2</sup> utilizando especificación Fuller y manteniendo constante la relación agua/cemento realizar los diseños de mezcla utilizando la especificación Shiltstone, las condiciones ambientales serán locales con la que permita lograr en las mezclas las características requeridas

Con la utilización de las dos metodologías se pretende realizar una base de datos que nos permita efectuar un análisis comparativo entre ambas y su influencia en el concreto fresco y endurecido.

Para la investigación se ensayarán cilindros de concreto a los 7 y 28 días, que según el comité ACI 214 pueden reducirse a un valor de 20 ensayos aplicando un factor de corrección.

## 1.6 LIMITACIONES

No se construirán tramos de prueba para poder llevar a cabo los estudios proporcionados en esta investigación, por lo que nos basaremos en pruebas de laboratorio.

La metodología Shilstone dentro de nuestro territorio es escasa o casi nula; la información a tomar en cuenta en nuestra investigación es retomada de fuentes internacionales, tratando de adecuar cada normativa con respecto a las características disponibles en el territorio nacional.

Para los estudios de materiales y la obtención de mezclas óptimas se requiere el análisis de muchos diseños de mezcla, y se necesita de ensayos de laboratorio, los cuales involucran tiempo y recursos económicos, por lo tanto se limita a realizar el diseño de mezclas aplicando un solo tipo de cemento HE-1157, un mismo tipo de agregado para ambas metodologías de dosificación.

La naturaleza de procedencia de los agregados debe ser estrictamente triturada, esto debido a la propiedad principal a evaluar en el laboratorio (Flexión) la cual se verá afectada si los agregados fueran de naturaleza redondeada.

Las pruebas de laboratorio a realizar en el concreto tanto en estado fresco como endurecido se sujetan a las disponibilidad de tiempo y equipo para su realización

Las pruebas a realizar al concreto fresco son: revenimiento, temperatura y peso volumétrico.

Las pruebas a realizar en el concreto en estado endurecido son: Flexión al tercio medio, capacidad de carga a la compresión.

El estudio no pretende elaborar una correlación entre el  $f'c$  y el módulo de ruptura para los diseño de mezclas propuestos.

## 1.7 JUSTIFICACIÓN

Las metodologías Fuller y Shilstone han sido utilizadas en muchos países donde se han implementado para la construcción de obras civiles de importancia, siendo la principal de ella la construcción de pavimentos de concreto Hidráulicos. Estas técnicas han ido evolucionando a través del tiempo, en cuanto a las aplicaciones de diseños estructurales y diseño de mezclas de concreto.

En nuestro país la granulometría Fuller es la más utilizada en el diseño de mezclas de concreto Hidráulico para pavimentos rígidos. Caso contrario la granulometría Shilstone no ha sido aplicado a nuestro medio ya que las plantas trituradoras no producen la granulometría para utilizar en esta metodología.

El presente estudio pretende determinar un análisis comparativo de las características mecánicas de las mezclas de ambos diseños, tomando en cuenta que la proyección mundial está orientada a utilizar técnicas que generan ventajas mecánicas a corto, mediano y largo plazo en la estructuras de concreto Hidráulico dentro de los pavimentos rígidos.

La utilización de éstas puede permitir actividades como la rápida apertura de carreteras, reducción en el contenido de cemento en la mezclas, mejores resistencias a la Flexión, de esta manera se puede realizar procesos de optimización granulométricas, para ello es necesario investigar propiedades que nos permitan conocer su comportamiento en la región, así como

determinar la resistencia a la Flexión que es la propiedad relevante en el diseño de concreto Hidráulico, utilizado en pavimentos rígidos.

El desarrollo de esta investigación es muy importante ya que en nuestro país no existen estudios de mezclas de concreto hidráulico bajo la metodología Shilstone. Con la realización y elaboración de diseño de la metodología Fuller se llevará a cabo una evaluación comparativa, la cual pretende identificar que influencia tienen las especificaciones granulométricas en el diseño de mezclas de concreto Hidráulico para pavimentos rígidos, elaborando especímenes para obtener su resistencia. Los resultados obtenidos de dos dosificaciones serán analizados y comparados para determinar cuál de estas presenta mejores resultados de resistencia a la compresión y a la Flexión a si como también la trabajabilidad, ya que a través de esta propiedad se pretende concluir cuál es más factible utilizar.

## **CAPÍTULO II**

# **GENERALIDADES DEL CONCRETO**

## **2.1 GENERALIDADES DEL CONCRETO**

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava) para formar una masa semejante a una roca puesto que la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua, la cual forma una roca artificial.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras (malla No. 200), y resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca. Los agregados gruesos se refiere a partículas de agregado mayores de 4.75 mm (malla No. 4) hasta 3" o conforme a la especificación ASTM C 33.

### **2.1.1 COMPOSICIÓN DEL CONCRETO**

El concreto está constituido por cemento, agua, agregado gruesos, finos y aditivos; la calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de los agregados, los agregados deben de consistir en partículas con resistencia mecánica adecuadas, así como resistencia en condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que ocasionen daño al concreto.

### **2.1.2 PROPORCIONAMIENTO DE COMPONENTES**

Ordinariamente la pasta compuesta de cemento y agua constituye del 25 al 40 % del volumen total del agregado. El cemento está comprendido entre el 7-15 % y el agua entre el 14-21%. El contenido de aire incluido en el concreto puede llegar hasta el 8% del volumen total, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso, mientras los agregados constituyen aproximadamente del 60-75 % del concreto. Estos volúmenes pueden variar si el concreto es con o sin aire incluido.

El agua como componente convencional suele presentarse aproximadamente entre el 10-25% del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera.

La figura 2.1 muestra la variación de porcentajes de cada componente en concreto con o sin aire incluido.

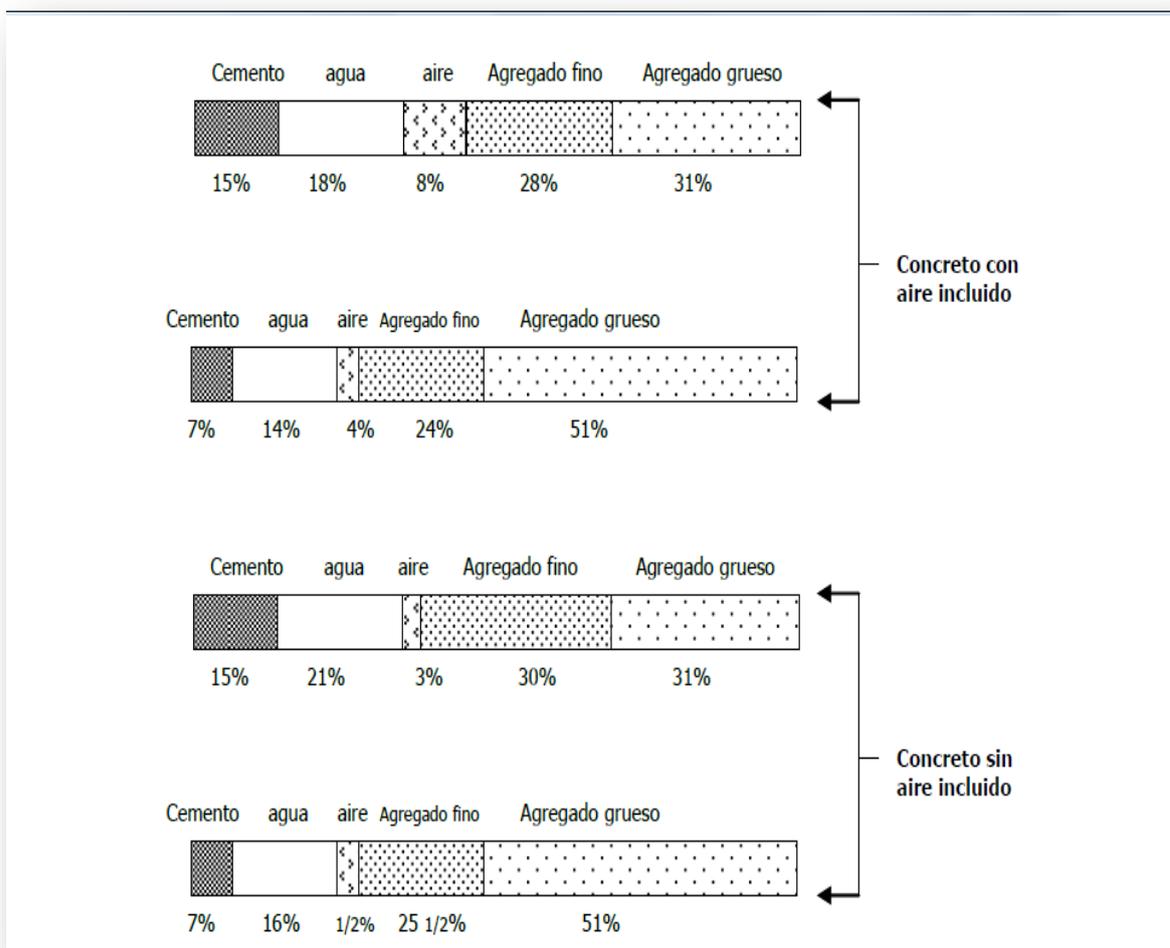


Figura 2.1: Variación de porcentajes de ingredientes en diferentes mezclas de concreto Hidráulico

Fuente: Material de apoyo de Tecnología del concreto. Autor Ing Lesly Mendoza

## 2.2 AGREGADOS

Los agregados son materiales granulares tales como arena, grava, roca triturada, concreto hidráulico reciclado o escoria de alto horno, que se usan junto con un medio cementante hidráulico para producir ya sea concreto o

mortero, son partículas de forma no uniforme. Se encuentran en la naturaleza como arena, grava, piedra o rocas que pueden triturarse en partículas. El término agregado se refiere generalmente a las partículas minerales que tienen como origen la roca, a menos que se especifique otra cosa.

Estas incluyen arena, grava, piedras del campo, bolones y piedras trituradas. Todos se derivan de la roca por efecto de las fuerzas de la naturaleza; o en el caso de la piedra triturada por un proceso de manufactura. El macizo rocoso es cualquier masa sólida grande de materia mineral que es parte de la corteza terrestre.

La industria de la construcción de carreteras es la mayor consumidora de agregados. Los agregados se usan como base o subbase y subrasante, entre el suelo y la capa de rodamiento en la estructura del pavimento. También se usan en los concretos bituminosos y los concreto de cemento Portland. Se emplean como bases de apoyo y nivelación entre el suelo y todo tipo de estructuras. Otro uso importante de los agregados es como filtro para agua que retiene los sólidos suspendidos en ella al pasar por el agregado. Los agregados se usan también para proveer el fácil drenaje del agua sin filtrarla.

Algunas funciones de los agregados:

En el concreto, forman una trabazón de tal manera que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen y se disminuye el volumen total que puede sufrir contracción.

Proveen una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión, paso de humedad y acción climática.

Son un relleno relativamente económico para el concreto, si se toma en cuenta que los agregados son más económicos que el cemento.

Reducen los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, así como los cambios de humedad en la pasta de cemento.

En estado plástico, el agregado fino (arena) y la pasta actúan como lubricantes de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.

Aportan parte de la resistencia propia a las propiedades mecánica del concreto.

La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuados de agregados, no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados

gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm, hasta 75 mm.

Por lo general, se requiere que los agregados sean limpios, duros, sanos y durables, y que los tamaños de las partículas estén comprendidos entre los límites establecidos, comúnmente bastante amplios.

### **2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

- Su origen.
- El método de fragmentación.
- El tamaño de sus partículas.
- Sus propiedades químicas.
- Por sus características.

#### **1. Por su origen**

De acuerdo con su origen, los agregados se clasifican en naturales y artificiales. Los agregados naturales proceden comúnmente de la desintegración o fragmentación de rocas, ocasionada ya sea por causas naturales o por medios mecánicos. La diversidad de tipos y clases de rocas es la responsable de las características, tipos y clases que clasifican y dan

diferentes características a los agregados. Los agregados naturales se forman a partir de rocas de origen natural y se clasifican en:

- a) Rocas ígneas
- b) Rocas sedimentarias
- c) Rocas metamórficas

Mientras que los agregados artificiales son todos aquellos que han sufrido un proceso de transformación en su forma y/o composición tales como escorias de alto horno, concreto reciclado o cualquier otro compuesto que puede ser agregado al concreto que aporte resistencia y que no sea perjudicial y/o reaccione químicamente con la mezcla.

## **2. Por el modo de fragmentación**

Los agregados por el modo de fragmentación se clasifican en:

- Naturales.
- Manufacturados.
- Mixtos

### Agregados naturales

Son agregados que proceden directamente de las rocas fragmentadas por fuerzas y acontecimientos de origen natural que dan como resultado una amplia diversidad de clases y tipos. La diversidad de clases y tipos de rocas da lugar a una amplia variedad de características en los agregados.

### Agregados manufacturados

Los agregados manufacturados proceden de rocas comunes cuya fragmentación pudo ser ocasionada por medios artificiales.

#### Agregados mixtos

Los agregados que se denominan mixtos son producto de la fragmentación inicial de la roca (origen natural, bloques, cantos rodados y gravas mayores) y una subsecuente fragmentación inducida por medios artificiales, es decir, el tamaño de la roca es reducido por medio de trituración mecánica. Este proceso se utiliza con el fin de aprovechar los fragmentos naturales de gran tamaño, los cuales, que de no ser triturados, no podrían utilizarse como agregados en el concreto, y también para la corrección de la curva granulométrica y el aprovechamiento integral del material disponible entre otros.

### **3. Por el tamaño de las partículas**

Los agregados se dividen por el tamaño de sus partículas en dos grandes categorías:

#### Agregado Grueso

El agregado grueso (grava), se refiere a partículas de agregado mayores de 4.75 mm (malla No. 4) hasta partículas de 75mm (3 pulg.). Son los utilizados en concreto convencionales. Ver Tabla 3.2

#### Agregado Fino

El término agregado fino (arena), se refiere a partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras (malla No. 200), y resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca. Ver Tabla 3.1

#### **4. Por sus Propiedades químicas**

La mayoría de los agregados son inertes, es decir, no reaccionan químicamente con los demás componentes del concreto. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial se observaron algunas reacciones con la pasta de cemento, por lo general dañinas para el concreto, que se conocen como reacción álcali-agregado y se encuentran dos categorías álcali-carbonato y álcali-sílice.

A continuación se discuten tres ensayos ASTM (American society for testing of materials) para identificar agregados reactivos con álcalis. Además, el examen petrográfico ASTM C 295 puede ser de utilidad para identificar a los agregados potencialmente reactivos.

El ensaye de barras de mortero ASTM C 227 se usa para determinar la potencial reactividad expansiva álcali-sílice de combinaciones de cemento y agregados. En este ensaye, se mide la expansión desarrollada en barras pequeñas de mortero durante su almacenamiento bajo condiciones especificadas de temperatura y humedad. Esta prueba puede ser utilizada tanto para agregados finos como gruesos, el principal inconveniente es que

generalmente deben transcurrir de tres a seis meses para obtener los resultados.

La prueba química rápida ASTM C 289, se emplea para identificar a los agregados silíceos potencialmente reactivos. Se pueden obtener resultados al cabo de dos o tres días. Las conclusiones que se obtienen se basan en la magnitud de la reacción que ocurre entre una solución de hidróxido de sodio y un espécimen triturado del agregado en cuestión. Este ensaye no es del todo confiable y generalmente suele ser acompañada de un análisis petrográfico (ASTM C 295).

La prueba de cilindro de roca ASTM C 586, se usa para determinar agregados de rocas con carbonatos potencialmente expansivos (reactividad álcali-carbonato) se miden los cambios de longitud en una muestra que ha estado sumergida en una solución de hidróxido de sodio. Las tendencias expansivas se pueden observar usualmente luego de 28 días de inmersión.

Existe una ensayo adicional que suele ser utilizado en concretos endurecidos cuando estos que ya han experimentado algún tipo de deterioro a esta prueba hace referencia la ASTM C 856.

## **5. Por sus Características**

Forma

- Planas.
- Alargadas.
- Cubicas.

### Textura

- Pulida (Vítrea).
- Semi –áspera.
- Áspera.

### General

- Sana
- Intemperizada

## **2.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por el análisis de tamices (Norma ASTM C 136). El tamaño de partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas.

La granulometría y los límites de granulometría, se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa cada malla. Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo de agregado. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra. Las arenas muy finas a menudo resultan antieconómicas; las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables. En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

### **GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS**

Los requisitos de la norma ASTM C 33, en lo que respecta a su gradación permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso.

En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada tamiz resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua/cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía

máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más distribuida sea la granulometría, mayor será la economía.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C 33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos.

Algunos requisitos de la norma ASTM C 136 son:

Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.

Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente de abastecimiento del agregado.

En el caso que se sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino.

## **GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS**

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados gruesos permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños de granulometría. La granulometría para un agregado grueso con un tamaño máximo nominal puede variar dentro de un rango moderado, sin que se produzca un efecto apreciable en la demanda de cemento y agua si la proporción de agregado fino a agregado total produce un concreto de buena trabajabilidad.

Para producir un concreto trabajable se deberán cambiar las proporciones de la mezcla si ocurren fuertes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de anticipar, a menudo es más económico mantener uniformes el manejo y la manufactura del agregado grueso, de modo que se reduzcan las variaciones en la granulometría. El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El costo superior para obtener o manejar agregados mayores de 50 mm, puede compensar el ahorro al utilizar menos cemento. Además de esto, los agregados de tamaños máximos distintos, pueden proporcionar resistencias de concreto ligeramente distintas para la misma relación agua/cemento. En ciertos casos, con la misma relación agua/cemento, el concreto con el menor tamaño máximo de agregado tiene una mayor resistencia a la compresión. Esto es especialmente cierto en el concreto de alta resistencia. El tamaño máximo óptimo de agregado grueso para rangos de altas resistencias depende de la resistencia relativa de la pasta de cemento, de la adherencia agregado-cemento, y de la resistencia de las partículas del agregado.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas.

Estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen vacíos.

### **AGREGADOS CON GRANULOMETRÍA DISCONTINUA**

En los agregados con granulometría discontinua se han omitido ciertos tamaños de partícula. Para concreto moldeado en el lugar, los agregados con granulometría discontinua típicos consisten en sólo un tamaño de agregado grueso siendo todas las partículas de agregado fino capaces de pasar a través de los vacíos en el agregado compactado. Las mezclas con granulometría discontinua se utilizan para obtener texturas uniformes en concretos estructurales normales, debido a las posibles mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación, y para permitir el uso de granulometrías de agregados locales.

Se debe tener precaución, al elegir el porcentaje de agregado fino en una mezcla con granulometría discontinua. Una elección incorrecta, puede resultar en un concreto susceptible de producir segregación o alabeo debido a un exceso de agregado grueso o en un concreto con baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino.

Para mantener la trabajabilidad normalmente se requiere de inclusión de aire puesto que las mezclas con granulometría discontinua de revenimiento bajo hacen uso de un bajo porcentaje de agregado fino y a falta de aire incluido producen mezclas ásperas.

Se debe evitar la segregación de las mezclas con granulometría discontinua, restringiendo el revenimiento al valor mínimo acorde a una buena consolidación.

### **2.2.3 PESO VOLUMÉTRICO Y VACÍOS (ASTM C 29)**

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal varía desde aproximadamente  $1,200 \text{ Kg/m}^3$  a  $1,760 \text{ Kg/m}^3$  (Figura 2.2). El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los

métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29.

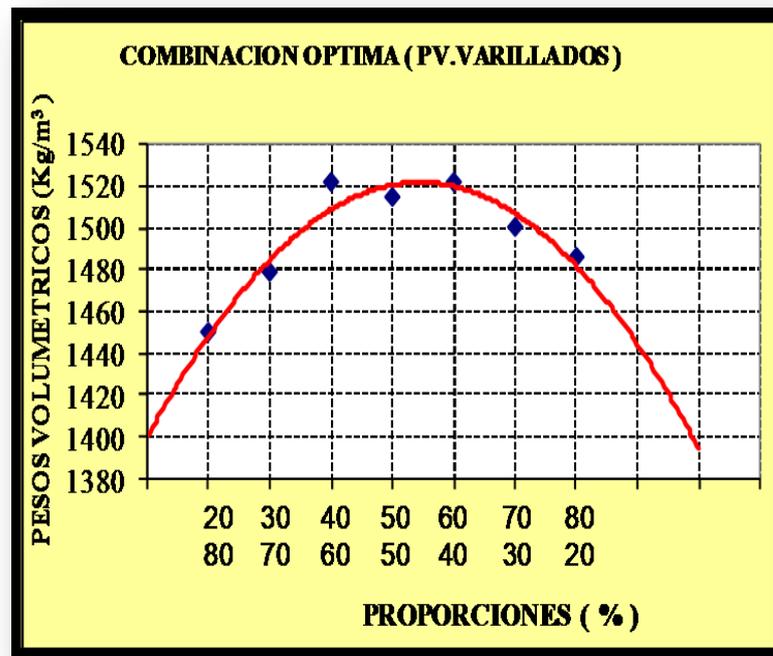


Figura 2.2: Peso volumétrico promedio de un agregado utilizado para concreto convencional  
Fuente: material de apoyo Tecnología del concreto. Autor Ing. Lesly Mendoza

#### 2.2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C 127, ASTM C 128 Y ASTM C 70)

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 127 (Ensayo estándar para la densidad, gravedad específica y absorción de agregado grueso), C 128 (Ensayo estándar para la densidad, gravedad específica y absorción de agregado fino) y ASTM C 70 (Ensayo estándar para la humedad superficial del

agregado fino); de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de manera sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se designan como:

- Secado al horno: completamente seca.
- Secado al aire: secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
- Saturados y superficialmente secos (SSS): no absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
- Sobresaturados: contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre)

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados de manera que cubra los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variarán de una revoltura a otra. El contenido máximo de agua de un agregado grueso, usualmente es menor que el de un agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad máximo, aproximadamente de 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos solo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

El abudamiento, es el aumento del volumen total de agregado fino húmedo respecto al mismo peso seco. La tensión superficial en la humedad mantiene

separadas las partículas, provocando un aumento de volumen. El abundamiento de los agregados finos, ocurre cuando se traspalean o se mueven de cualquier otra forma en condición húmeda, aunque antes hayan sido consolidados totalmente. Puesto que la mayoría de los agregados finos se entregan en condición húmeda, pueden ocurrir grandes variaciones en las cantidades para las mezclas si se hace la dosificación de acuerdo con el volumen. Por esta razón la buena práctica ha favorecido con mucho que el agregado sea pesado y se le ajuste por contenido de humedad cuando se dosifica un concreto.

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.6 y 2.9.

Los métodos de prueba para determinar los pesos específicos para los agregados gruesos y finos se describen en las normas ASTM C 127 y C 128 respectivamente. El peso específico de un agregado se puede determinar considerando que ha sido secado al horno totalmente o que se encuentra saturado y superficialmente seco (SSS). Ambos pesos específicos se

pueden utilizar en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto. Los agregados secados en el horno, no contienen ninguna cantidad de agua libre o absorbida. Se les seca en un horno hasta obtener peso constante. Los agregados saturados y superficialmente secos son agregados en los cuales los poros en el interior de cada partícula de agregado han quedado llenos con agua y no contienen agua en exceso en la superficie de la partícula.

#### **2.2.5 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO POR ABRACIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES (ASTM C 131)**

Este método es una medida del desgaste en agregados minerales de graduación estándar resultando de una combinación de acciones incluyendo la abrasión o fricción, trituración e impacto en un tambor de acero rotativo que contiene un número específico de esferas de acero, el número depende de la granulometría de la muestra de ensayo. Mientras el tambor rota, una platina recoge la muestra y las esferas de acero, desplazándolas de tal manera que queden del lado opuesto del tambor, creando un efecto de aplastamiento e impacto. Luego giran dentro del tambor con una acción de desgaste y trituración hasta que la platina recoge la muestra y las esferas de acero, y se vuelve a repetir el ciclo. Después del número de revoluciones

especificadas, se remueve la muestra del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida porcentual.

Este ensayo se usa como un indicador de la dureza, calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregado que tienen una composición mineral similar. Los resultados del ensayo no deben utilizarse para hacer comparaciones inmediatas entre distintas fuentes de origen, composición mineralógica o estructura de los agregados. Los límites de la especificación se deben designar con extremo cuidado tomando en consideración los tipos de agregados disponibles y también sus usos a lo largo de su historia.

#### **2.2.6 SANIDAD DE AGREGADOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO (ASTM C 88)**

La Sanidad es una propiedad que mide la estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezclas de concreto en pavimentos, especialmente cuando estos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos.

El ensayo de Sanidad se realiza sumergiendo la grava o arena en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio hasta saturación total y secándola en una estufa u horno alternativamente; este proceso de saturación y secado forma un ciclo. Un agregado inestable se desintegra, se

divide en trozos, se agrieta o desprende escamas después de muy pocos ciclos.

Una muestra de agregados con granulometría y peso conocido, se somete a cinco (5) ciclos repetitivos de inmersión-secado, (solución saturada de sulfato de sodio y de secado a masa constante). La sal precipitada en los poros permeables es deshidratada total o parcialmente por el período de secado. La fuerza de expansión interna, se origina en la rehidratación de la sal, producida por la re-inmersión de la muestra de agregados, en la solución de sulfato de sodio, de esta forma se logra simular la expansión del agua durante su congelamiento

### **2.2.7 IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO (ASTM C 40)**

Este método es usado cuando se evalúa preliminarmente la aceptabilidad del agregado fino, como elemento constituyente del concreto hidráulico. La importancia de este método de ensayo consiste en que proporciona un indicador sobre la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino a utilizar. Cuando una muestra es sometida a este ensayo un color oscuro en la solución de hidróxido de sodio, indicará la presencia de estas impurezas orgánicas. Esto permitirá evaluar el efecto de dichas impurezas en la resistencia del mortero hidráulico.

Una muestra de arena se deposita dentro de una botella de 16 onzas (350ml). Seguidamente se deposita sobre la muestra de arena una solución de Hidróxido de sodio al 3%, se tapa y se agita vigorosamente este conjunto, luego se deja reposar por 24 h. Para hacer las lecturas colorimétricas en comparación con la CARTA COLORIMÉTRICA (Figura 2.3). La presencia de impurezas orgánicas perjudiciales se presenta con una coloración oscura de la solución de hidróxido de sodio. La no presencia de coloración en la misma indicará que la arena está limpia.

#### CARTA DE COLORES PARA ENSAYO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ARENAS.



Figura 2.3: Carta de colores.  
Fuente: Propia

### **2.2.8 PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS (ASTM D 4791)**

Las partículas planas y alargadas de agregado son aquellas que tienen una relación de largo a espesor mayor que un valor especificado.

El resumen de este método de ensayo consiste en que las partículas individuales de agregado de un tamaño específico de tamiz es medido para determinar las relaciones de ancho a espesor de largo a ancho, o largo a espesor.

Las partículas planas o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción pueden interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales, además de afectar en su resistencia mecánica (compresión y Flexión).

Por otro lado este método de ensayo provee una manera para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica del agregado grueso.

Los agregados con alto contenido de partículas planas o alargadas son más susceptibles a fallar al momento de que se aplique una presión mínima ya que su forma no es muy apropiada por ser tan delgadas o alargadas, por eso es importantes determinar la cantidad de ellas presentes en el agregado grueso el cual es el encargado de darle la resistencia al cemento y preferiblemente evitarlas, ya que es mucho mejor emplear partículas de formas cúbicas o que tengan una área superficial adecuada para que se

unan correctamente con las demás partículas y con la pasta de cemento, para que la mezcla posea una resistencia lo más alta posible.

## **2.3 CEMENTO**

El principal material cementante en el concreto es el cemento Pórtland. Los Pórtland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulico. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se agrega a los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) actúa como adhesivo y une a todas las partículas de agregados para formar así al concreto, el material de construcción más versátil y de mayor uso en el mundo de la construcción.

### **2.3.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO**

Se fabrican diferentes tipos de Cemento Pórtland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas. Las especificaciones de cemento presentan límites para las propiedades físicas y para la composición química. La comprensión de la importancia de las propiedades físicas es útil para la interpretación de los resultados de los

ensayos (pruebas) de los cementos. Los ensayos de las propiedades físicas de los cementos se deben utilizar para la evaluación de las propiedades del cemento y no del concreto. Las especificaciones del cemento limitan las propiedades de acuerdo con el tipo de cemento. Durante la fabricación, se monitorean continuamente la química y las siguientes propiedades del cemento:

Tamaño de las Partículas y Finura (ASTM C 204 método de permeabilidad al aire): éste es un factor que afecta la hidratación del cemento, no importa su composición química, entre más fino es la molienda mayor es el calor de hidratación y el resultante incremento en resistencia acelerada, para un peso dado de cemento, el área superficial de los granos de cemento de molido grueso es menor que para un cemento de molido fino. Puesto que el agua está en contacto con más área superficial en un cemento de molido fino, el proceso de hidratación ocurre más rápidamente en un cemento de tal clase. Si el cemento es molido finamente en exceso, hay una posibilidad de una prehidratación debido al vapor húmedo durante la fabricación y almacenaje con la resultante pérdida en las propiedades cementantes del material.

Sanidad (ASTM C 151 ensayo de auto clave): La sanidad se refiere a la habilidad de la pasta de cemento en mantener su volumen estable después del fraguado. La falta de sanidad o la expansión destructiva retardada se puede causar por la cantidad excesiva de cal libre o magnesia supercalcinadas. Un cemento sin sanidad exhibirá agrietamiento, rotura y una eventual desintegración de la masa de material. Esta destrucción

retrasada debido a la expansión es ocasionada por excesivas cantidades de cal libre o magnesio presente en el cemento.

Tiempo de Fraguado (ASTM C 191 método de agujas Vicat, ASTM C 266 agujas Gillmore): Un cemento empleado en concreto no debe fraguar demasiado pronto que lo vuelva no trabajable, o sea, que se rigidice y se vuelve duro antes de que sea colocado o acabado. Cuando fragua muy lentamente, se puede perder valiosos tiempo de construcción.

La resistencia a la compresión( ASTM C 109): La resistencia a la compresión es aquella obtenida por la prueba (ensayo), por ejemplo, de cubos de mortero de acuerdo con la norma ASTM C 109. Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento hidráulico, usando especímenes en forma de cubo de 2 pulgadas (50 mm). Este método de prueba provee un medio de determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros y los resultados pueden ser usados para la determinación del cumplimiento con las especificaciones. Además, este método de prueba está referenciado por otras numerosas especificaciones y métodos de prueba. El uso de los resultados de este método de prueba para predecir la resistencia de concretos deberá hacerse con precaución. Los materiales para el mortero estándar son cemento, agua y arena estándar graduada (arena de Ottawa).

### 2.3.2 TIPOS DE CEMENTOS

La norma ASTM C 595 establece diferentes tipos de cemento que se pueden observar en la Tabla 2.1:

TIPO	CARACTERISTICAS
<b>I(PM)</b>	Cemento Pórtland Modificado con Puzolana, de uso general en las Construcciones de concreto. Pueden considerarse las opciones Moderada Resistencia a Sulfatos, Aire Incluido o Moderado Calor de Hidratación o cualquier combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), ó (MH) respectivamente.
<b>IP</b>	Cemento Portland Puzolánico, de uso general en las construcciones de concreto.
<b>P</b>	Cemento Puzolánico, de uso en construcciones de concreto donde no son requeridas altas resistencias a edades tempranas.
<b>I(SM)</b>	Cemento Pórtland Modificado con Escoria de uso general en las construcciones de concreto. Pueden considerarse las opciones Moderada Resistencia a Sulfatos, Aire Incluido, o Moderado Calor de Hidratación o cualquier combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), ó (MH) respectivamente.
<b>IS</b>	Cemento Pórtland Siderúrgico, de uso general en la construcción de concreto. Pueden considerarse las opciones Moderada Resistencia a Sulfatos, Aire Incluido, o Moderado Calor de Hidratación o cualquier combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), ó (MH) respectivamente.
<b>S</b>	Cemento Siderúrgico, de uso en construcciones de concreto donde no son requeridas altas resistencias a edades tempranas. Puede considerarse la opción Aire Incluido adicionando el sufijo ( A ).
<b>IP(MS)</b>	Cemento Pórtland Puzolánico con moderada resistencias a los sulfatos.
<b>IS(MS)</b>	Cemento Pórtland Siderúrgico con moderada resistencia a los sulfatos.

Tabla 2.1: Cementos con adiciones activas según la norma ASTM C 595

Fuente: ASTM C 595

## Cementos con adiciones activas según la norma ASTM C 1157

TIPO	CARACTERISTICAS
GU	De uso general en la construcción.
HE	De alta resistencia inicial <sup>1</sup>
MS	De moderada resistencia a los sulfatos.
MH	De moderado calor de hidratación.
LH	De bajo calor de hidratación.

Tabla 2.2: Cementos con adiciones activas según la norma ASTM C 1157

Fuente: ASTM C 1157

## 2.4 AGUA

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo algunas aguas NO potables pueden ser adecuadas para el concreto, así como otras SI potables no pueden serlo.

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones como ingredientes en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua.

---

<sup>1</sup> \* Tipo de cemento que se utilizará en el Trabajo de Graduación bajo las especificaciones para cemento Hidráulico de ASTM C 1157

El agua de mezclado en el concreto consiste en toda aquella que sea para la mezcla, excepto la absorbida por los agregados. El agua de mezcla tiene las siguientes funciones.

- Reaccionar con el cemento en el proceso de hidratación.
- Actuar como agente dispersante del polvo de cemento.
- Actuar como lubricante para incremento la trabajabilidad de la mezcla.
- Formar burbujas para la inclusión de aire

Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear aguas de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en cubitos. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional (sin ningún tipo de aditivo que cambie sus características de un concreto de comportamiento normal), el agua puede variar entre el 4 y 21% del volumen absoluto del concreto convencional recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiere. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener resultados significativos en el concreto.

#### **2.4.1 CALIDAD DEL AGUA**

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico; llamando a este aspecto cualquier microorganismo, como coliformes, parásitos, bacterias, virus u hongos; sino que se refiere básicamente a las propiedades físico-químicas y su efecto sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Propiedades físicas:

Sólidos en suspensión

- Color
- Olor
- Temperatura

- Sabor
- Materia orgánica

#### Propiedades químicas

- Sales inorgánicas: cloruros, sulfatos
- Dióxido de carbono disuelto

Según la norma ASTM C 1602, el agua de mezclado consiste en:

- Tarda de agua (agua pesada o medida por la planta suministradora)
- Hielo
- Agua añadida por el operador del camión
- Agua libre en los agregados
- Agua introducida en la forma de añadidura cuando esta agua incrementa la relación agua-cemento de los materiales en más de 0.01

Es permitido 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 o que provienen de las operaciones de producción del concreto son permitidas para ser usadas en cualquier proporción en concordancia con los límites cualificados de los requerimientos de la Tabla 2.3 Para la opción del solicitante y cuando sea apropiado para la construcción, cualquiera de los límites opcionales encontrados en la Tabla 2.4 será especificado al momento de ordenar el concreto de acuerdo a la sección de Información de Órdenes de la Especificación C 94/C 94M

	LÍMITES	MÉTODOS DE ENSAYO
<b>Resistencia a compresión, % min, control a los 7 días<sup>AB</sup></b>	90	C 31/C 31M, C 39/C 39M
<b>Tiempo de colocación, desviación del control, h:min<sup>A</sup></b>	1:00 antes, de la referencia ó 1:30 después.	C 403/C 403M

<sup>A</sup>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. (Ver anexo A1).

<sup>B</sup>La fuerza a la compresión resultante estará basada en por lo menos dos especímenes estándar de ensayo hechos de una muestra compuesta.

Tabla 2.3: Requerimientos de desempeño del concreto para el Agua de Mezclado  
Fuente: Norma ASTM C 1602/C 1602M-06. Especificación Estándar para agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

	LÍMITES	MÉTODO DE ENSAYO
<b>Concentración máxima en agua de mezclado combinada; ppm B</b>		
<b>A. Cloruros como Cl, ppm</b>		
1- En concreto pre-esforzado, cubiertas de puentes o designado de otra manera.	500 <sup>C</sup>	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 <sup>C</sup>	C 114
<b>B. Sulfatos como SO<sub>4</sub>, ppm</b>	3,000	C 114
<b>C. Álcalis como (Na<sub>2</sub>O + 0.658K<sub>2</sub>O), ppm</b>	600	C 114
<b>D. Total de sólidos por masa, ppm</b>	50,000	C 1603

<sup>A</sup> Límites especificados.

<sup>B</sup> ppm es la abreviación para partes por millón.

<sup>C</sup> 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<sub>2</sub>) como una añadidura, es permitido que el solicitante renuncie a la limitación de cloruro.

Tabla 2.4 Límites Químicos Opcionales para el Agua de Mezclado Combinada  
Fuente: Norma ASTM C 1602/ C 1602 M-06. Especificación Estándar para Agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

## 2.5 ADITIVOS

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue:

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
2. Aditivos reductores de agua
3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de la hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado
10. Aditivos colorantes
11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

Según la norma ASTM C 494 “Especificación normalizada para los aditivos químicos para concreto” los aditivos químicos son del tipo A al tipo G, las características de reducción en el agua de mezclado y de fraguado inicial para cada tipo de aditivo, se deben comparar con las de un mezcla de concreto de control que no contiene el aditivo; según su formulación estos aditivos, pueden ser usados para propósitos propios de cada caso, como se describe en la Tabla 2.5.

TIPO DE ADITIVO	CARACTERISTICA
<b>Tipo A</b>	Reductor de Agua
<b>Tipo B</b>	Retardante
<b>Tipo C</b>	Acelerante
<b>Tipo D</b>	Reductor de Agua y Retardante
<b>Tipo E</b>	Reductor de Agua y Acelerante
<b>Tipo F</b>	Reductor de Agua de Alto Rango
<b>Tipo G</b>	Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante

Tabla 2.5: Clasificación de aditivos químicos según ASTM C 494

Fuente: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2011. Autor Ing. Lesly Mendoza

A su vez existen los aditivos finamente divididos que son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante, esto para mejorar o transformar algunas de las propiedades del concreto de

cemento Portland en estado fresco o endurecido. Estos aditivos son generalmente materiales naturales o subproductos, dentro de estos aditivos se encuentra la microsílice.

En la presente investigación, el aditivo que se utilizará para el diseño y elaboración de las mezclas de concreto en las metodologías de dosificación Fuller y Shilstone es un tipo RA 1000, el cual es plastificante, reductor de agua con trabajabilidad extendida para concreto. Su uso mejora las mezclas de concreto, haciéndolas más plásticas y fluidas y manteniendo el tiempo de trabajabilidad. Cumple con ASTM C 494 tipo "B" y "D".

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se las puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos (a excepción de los inclusores de aire cuando son necesarios).

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado; A pesar de estas consideraciones, se debe

observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad solo puede considerarse como un sustituto de las buenas prácticas de construcción.

**CAPÍTULO III**

**MEZCLAS DE**

**CONCRETO HIDRÁULICO**

**PARA PAVIMENTOS**

**RÍGIDOS**

### **3.1 GENERALIDADES SOBRE LOS PAVIMENTOS.**

El hombre ha tenido siempre la necesidad de desplazarse de un lugar a otro y para ello ha buscado la manera más conveniente de hacerlo, entendiéndose por esto, la conjugación de ahorro de tiempo, esfuerzo, comodidad, velocidad y economía.

Consecuentemente, los pavimentos nacieron al mejorar los caminos por donde originalmente circulaban las personas y los animales, y han evolucionado desde la adecuación del suelo, hasta el estado de refinanciamiento técnico donde se encuentra actualmente.

Los pavimentos tienen una clara función social, aunque para el común de las personas pasan desapercibidos; probablemente porque se constituye directamente sobre el suelo y no tienen el atractivo de las estructuras verticales, la espectacularidad de los puentes o la monumentalidad de las centrales hidroeléctricas; o simplemente porque el transitar de un sitio a otro es algo tan rutinario que se ha perdido la conciencia de la existencia de las vías y los pavimentos, no cabe la menor duda que su importancia es equiparable a la de cualquiera de los ejemplos mencionados.

Se le denomina Pavimento Rígidos porque su estructura sufre pequeñas deflexiones debido a cargas, esto gracias a su alto módulo de elasticidad en su superficie de rodamientos. Por tanto para que dichas estructuras soporten estas deformaciones; es indispensable un adecuado diseño de las mezclas de concreto, así como un adecuado diseño estructural.

### **3.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS.**

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda. De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas los resistan.

La calidad y los espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores; es decir, tanto los esfuerzos debidos al tránsito como la calidad de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento. Así, con estos dos parámetros, el diseñador debe estructurar el pavimento haciendo uso de materiales regionales y con ellos resolverá los diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible.

### **3.1.2 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS.**

La estructura de un pavimento está compuesta por una o más capas, construidas sobre el suelo, con el fin de soportar adecuadamente las cargas aplicadas. Generalmente, las capas que conforman la estructura del pavimento son, en orden ascendente como se describen a continuación:

#### **Subrasante**

La subrasante, es la parte de una carretera que sirve para el soporte de las capas de pavimento, por tanto, debe cumplir características estructurales para que, los materiales seleccionados que se colocan sobre ella se acomoden en espesores uniformes y su resistencia debe ser homogénea en toda la superficie para evitar fallas en los pavimentos. En algunos casos, esta capa está formada solo por la superficie natural del terreno. En otros casos, cuando en estado natural el material de corte del lugar es de muy baja calidad, se tendrá que hacer un proceso de mejoramiento, estabilización y luego darle el grado de compactación necesario para obtener la subrasante adecuada.

#### **Sub-base**

Tiene las mismas funciones de una base, esta puede ser de material granular o material estabilizado. Forma parte de la estructura de los

pavimentos por razones económicas, ya que los materiales de sub-base son más baratos, por tener una calidad inferior a la base, comúnmente consta de una capa compactada de material granular, ya sea tratada o no tratada, o una capa de suelo tratada con mezcla conveniente.

La capa de sub-base se usa por razones económicas en aquellos lugares en que los materiales de sub-base son más baratos que los materiales de más alta calidad. Sin embargo, la sub-base puede omitirse, si la estructura requerida de pavimento es relativamente delgada o si los suelos de la sub-rasante son de alta calidad, sin problema de humedad cualquiera que sea el caso, la capa de base puede construirse directamente sobre la sub-rasante.

## **Bases**

Se llama así la capa construida sobre la sub-base. Se diferencia de esta por la mejor calidad de sus materiales y las mayores exigencias en las especificaciones de construcción.

Aun cuando tiene funciones similares a las de la sub-base, su importancia radica en su capacidad estructural y de protección del resto del pavimento; además, permite la circulación de los vehículos mientras se construye la capa de rodadura. En la actualidad existe gran variedad de materiales empleados para la construcción de la base como lo son: los suelos y los materiales pétreos, algunos estabilizantes como el cemento, la cal, los aditivos y otros materiales ligantes.

### **Capa de rodamiento**

Con este nombre genérico se denomina a la última capa que se construye, y es sobre ella donde circulan los vehículos durante el período de servicio del pavimento. Por esto, debe ser resistente a la abrasión producida por el tráfico y a los condicionamientos de intemperismo; además, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie. La textura superficial de la capa de rodadura debe presentar dos características para atender adecuadamente la circulación de los vehículos: la suavidad, para que sea cómoda, y la rugosidad, suficiente para que sea segura.

## **LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO Ó PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Su superficie está conformada por losas de concreto de cemento Portland. En este tipo de pavimentos las losas absorben la mayor parte de los esfuerzos, deformándose muy poco bajo la acción de las cargas y distribuyéndolas en un área muy grande.

El pavimento rígido, elaborado con concreto Hidráulico, se puede definir como una mezcla plástica y manejable compuesta de agregados minerales como arena, grava, piedra triturada o escoria, entre mezclados en una masa aglutinante hecha de cemento y agua. Cuando se hace la primera

combinación, los materiales mencionados forman una masa plástica, de tal manera que se puede manejar y conformar con facilidad a cualquier forma deseada.

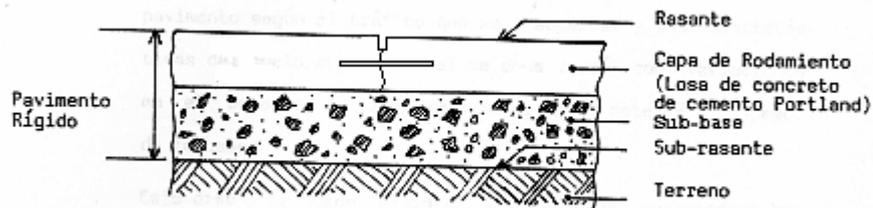


Figura 3.1: Esquema básico de la estructura de un pavimentos rígido.

Fuente: Material de apoyo de Ingeniería de pavimentos. Autor Ing. Dilber Sánchez

Los pavimentos rígidos, son losas de concreto, con o sin refuerzo de acero, que se colocan sobre la sub-rasante directamente, o sobre una sub-base granular o una sub-base de suelo cemento como se muestra en la figura 3.1. Estas losas de concreto constituyen el elemento más importante del pavimento, para resistir los efectos abrasivos del tráfico, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada e impermeabilizando la parte interior del pavimento.

## EL CONCRETO EN PAVIMENTOS

Cuando el concreto Hidráulico se usa en la construcción de pavimentos, particularmente para carreteras, las condiciones de calidad establecidas son un tanto diferentes a las requeridas para usos más comunes de este material.

Aunque la resistencia a la compresión sigue siendo importante, garantizar un módulo de ruptura adecuado a las condiciones de uso se vuelve fundamental en el caso de los concretos para pavimentos. La durabilidad, la resistencia al desgaste y otras, son características que se vuelven importantes, a diferencia de aquellas que se requieren en la construcción de edificios. Podemos agrupar los pavimentos de concreto en cinco categorías:

- Pavimentos de concreto con juntas simples.
- Pavimentos de concreto compactado.
- Pavimentos de concreto armado.
- Pavimentos de concreto pretensado.
- Pavimentos de concreto prefabricados.

### **Pavimentos de concreto con juntas simples**

Se disponen en ellos juntas transversales de construcción y juntas longitudinales de alabeo entre carriles o cuando la anchura de construcción es superior a 5 m. Resultan así, generalmente, losas rectangulares preferiblemente casi cuadradas, salvo en intersecciones, ramales y otras superficies de ancho variable en que han de tener en cualquier caso forma relativamente regular, sin ángulos agudos. Ambos tipos de juntas, longitudinales y transversales pueden ser también de construcción.

### **Pavimentos de concreto compactado**

Entre los pavimentos de concreto en masa pueden incluirse los Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo. En este caso la extensión se realiza con extendedora de mezcla bituminosa o motoniveladora, con lo que todas las fases de la puesta en obra pueden realizarse con la maquinaria más habitual en la construcción de carreteras, debido a la evolución a través del tiempo de parámetros como equipos, aplicaciones, diseños estructurales y diseños de mezclas de concreto.

### **Pavimentos de concreto armado**

A este grupo pertenecen los pavimentos con juntas, con refuerzo por temperatura por losa, así como también, los pavimentos continuamente reforzados y los pavimentos armados con fibras de acero.

### **Pavimentos de concreto pretensado**

Se puede construir losas de 120 m de longitud o incluso más, y reducir el espesor del orden de un 50%. Se han diseñado varios sistemas de pretensado interno mediante cables o alambres (postensado), y de pretensado externo mediante gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas. Las juntas tienen un diseño especial para soportar las mayores variaciones de abertura.

### **Pavimentos de concreto prefabricados**

Las placas de concreto armado, de forma cuadrada o rectangular, desde 1.5x1.5 m y 3.0x3.0 m con espesor de 120 a 160 mm, son empleadas en algunos países para pavimentos industriales sometidos a cargas muy pesadas. También dentro de esta clasificación podemos mencionar los de adoquines o bloques de concreto empleados para zonas que presenten tráfico ligero, moderado o alto.

### **3.2 COMPOSICIÓN DEL CONCRETO**

El concreto es una mezcla de diversos elementos utilizada en la construcción. La adecuada dosificación es indispensable para poder preparar un concreto con las normas de calidad requeridas.

Es la unión de cemento, agua, aditivos, grava y arena lo que nos da una mezcla llamada concreto. En algunas ocasiones al concreto se le agrega un aditivo el cual tiene diferentes funciones tales como reducir el agua, acelerar la resistencia e incrementar su trabajabilidad.

Los concretos utilizados en pavimentos tienen ciertas características que los hacen especiales, bajas relaciones a/c para lograr mayores resistencias, revenimientos bajos, utilización de cementos propios para pavimentos; así como la utilización de agregados con ciertas características especiales necesarias para lograr un correcto funcionamiento del concreto.

A continuación hacemos referencia a dos principales componentes del concreto que son importantes a tomar en cuenta al momento de hablar de mezclas de concreto Hidráulico en pavimentos rígidos

### **3.2.1 CEMENTO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Para la construcción de pavimentos rígidos, un punto muy importante es los materiales a utilizar. El transporte, almacenamiento, calidad y características en general de cada uno de ellos, se debe tener en cuenta a la hora de acometer proyectos como estos. Por esto, tanto en las obras, como en las plantas productoras del concreto se deben seguir especificaciones que están regidas tanto por normas nacionales como internacionales.

#### **3.2.1.1 TIPOS DE CEMENTO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

El material ligante a utilizar será Cemento Portland o Cemento Portland con Adiciones, que reúna estrictamente las condiciones exigidas por las Normas correspondientes. Se consideran aptos los cementos que cumplan con las Normas ASTM C 150 (AASHTO M 85), ASTM C 1157, ASTM C 595 (AASHTO M 240).

### **3.2.2 AGREGADOS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Las características de los agregados tienen una influencia importante en el proporcionamiento (dosificación) de las mezclas de concreto, porque afectan de manera significativa las propiedades tanto en estado fresco como también 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. Estos deberán cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 33.

#### **3.2.2.1 FORMA DE LOS AGREGADOS**

La forma de la partícula y la textura superficial son importantes para una correcta compactación, resistencia a la deformación, trabajabilidad. En general se puede decir que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman concretos más resistentes que otras redondeadas o lisas, debido a que hay mayor trabazón entre los agregados gruesos y el mortero.

Sin embargo, con igual contenido de cemento, los primeros exigen mayor cantidad de agua para lograr una determinada manejabilidad y por ello el efecto neto sobre resistencia no varía en forma apreciable. Ver gráfica de la Figura 3.2

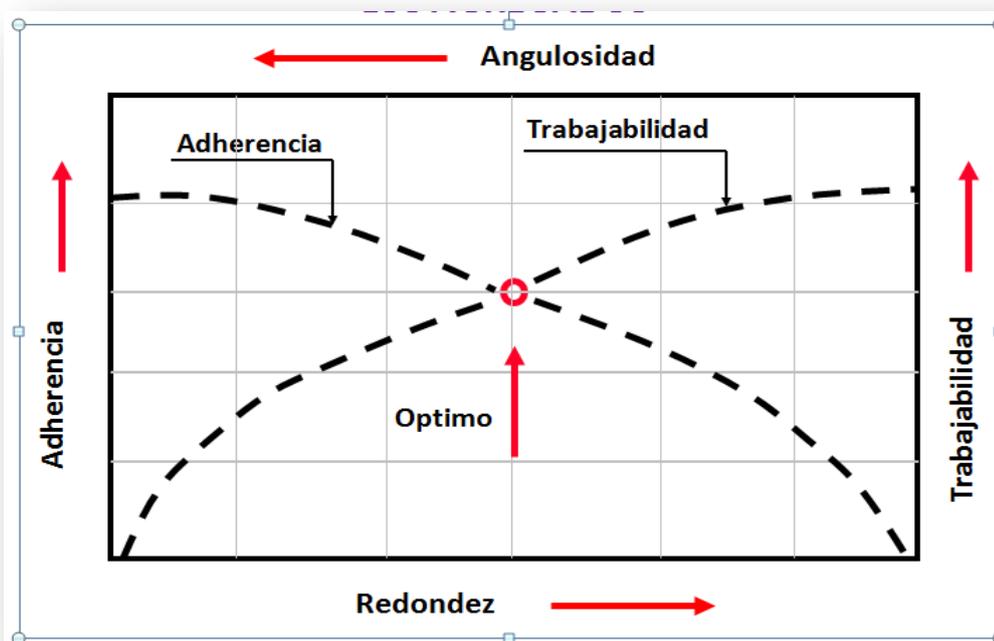


Figura 3.2: Punto Óptimo de la Forma de los agregados  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

El agregado debe ser relativamente libre de partículas planas y elongadas. Una partícula se considera plana y elongadas cuando la relación entre longitud y espesor supera un valor especificado.

Las partículas planas y elongadas se deben evitar o, por lo menos, limitar a cerca del 15% de la masa total del agregado. Este requisito es igualmente importante para el agregado grueso y para el agregado fino triturado, pues el agregado fino obtenido por la trituración de la roca frecuentemente contiene

partículas planas y elongadas. Estas partículas de agregado requieren un aumento del agua de mezcla y, por lo tanto, pueden afectar la resistencia del concreto, principalmente a la flexión, si no se ajusta la relación agua/cemento.

Las partículas que conformen el agregado fino deberán ser limpias, duras, resistentes, sanas, estables, libres de películas superficiales, de raíces y de restos vegetales. No contendrán otras sustancias nocivas que pudiesen perjudicar al concreto o a las armaduras.

El agregado fino podrá estar constituido por arena natural o por una mezcla de arena natural y arena de trituración, en proporciones tales que permitan al concreto reunir las características y propiedades especificadas.

El agregado grueso podrá estar constituido por grava (canto rodado), grava partida, roca triturada, o por mezcla de dichos materiales en proporciones tales que satisfagan las exigencias especificadas.

### **3.2.2.2 TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL**

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien gradado, tiene dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del concreto. En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños máximos mayores requiere menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación

agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor. En particular, se ha demostrado que para concretos de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor deberá ser el tamaño máximo. Así mismo, para concretos de baja resistencia, mientras mayor sea el tamaño máximo, mayor será la eficiencia.

Sin embargo, para concretos de resistencia intermedia, existe un rango amplio en los tamaños máximos que se pueden usar para una misma resistencia, esencialmente con igual contenido de cemento. Únicamente se requiere de mayor cantidad de cemento si se utilizan agregados de tamaños pequeños.

### **3.2.2.3 GRANULOMETRÍA**

Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, tales como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción (retracción) y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas son normalmente antieconómicas, mientras que arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño

y presentan una curva granulométrica suave, producirán los resultados más satisfactorios.

Por lo tanto, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino-agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia. Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales.

La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas ASTM C 33 (AASHTO M6), es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de estas normas, con respecto a la granulometría se enseñan en la Tabla 3.1

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA ( EN MASA)
3/8 pulg	100
No 4	95 a 100
No 8	80 a 100
No 16	50 a 85
No 30	25 a 60
No 50	10 a 30
No 100	2 a 10

Tabla 3.1: Límites granulométricos del agregado fino (ASTM C 33/AASHTO M6)  
Fuente: ASTM C 33

La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte

apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad.

Las proporciones de la mezcla se deben cambiar para producir un concreto trabajable si ocurrieran grandes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría.

El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Normalmente, se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor si es comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado.

Los requisitos de granulometría del agregado grueso de las normas ASTM C 33 (AASHTO M 80), se muestran a continuación en la tabla 3.2

Cantidades más finas que cada malla de laboratorio (abertura cuadrada), peso %															
Número del tamaño	Tamaño Nominal, Abertura cuadrada, mm	100- mm	90- mm	75- mm	63- mm	50- mm	37.5- mm	25- mm	19.0- mm	12.5- mm	9.5- mm	4.75- mm	1.18- mm	300- μm	150- μm
		(3½-in.)	(3-in.)	(2½-in.)	(2-in.)	(1½-in.)	(1-in.)	(¾-in.)	(½-in.)	(¼-in.)	(No 4.)	(No 8.)	(No 16.)	(No 30.)	(No 60.)
1	90 hasta 37.5-mm (3½ hasta 1½-in.)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 hasta 37.5-mm (2½ hasta 1½-in.)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 hasta 45	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 hasta 25.0-mm (2 hasta 1-in.)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 hasta 4.75-mm (2-in hasta No 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37.5 hasta 19.0-mm (1½ hasta ¾-in.)	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 hasta 45	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 hasta 4.75-mm (1½ hasta No 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25.0 a 9.5 mm (1 in hasta ½ in)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	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	...	...	...	...	...
6	19.0 hasta 9.5-mm (¾ hasta 3/8-in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19.0 hasta 4.75-mm (¾-in hasta No 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12.5 hasta 4.75-mm (½-in hasta No 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
89	9.5 a 1.18-mm (3/4-in hasta No 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 5	...
8	9.5 hasta 2.36-mm (3/8-in hasta No 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	...	...
9*	4.75 a 1.18 mm (No 4 a No 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	...

\*Cerniduras

Tabla 3.2: Requisitos de Granulometría para agregado grueso, Fuente: ASTM C33.

### **3.2.2.3.1 GRANULOMETRÍA FULLER**

En la actualidad existen en la literatura mundial muchos métodos analíticos, así como otros de carácter práctico, para determinar la composición de las mezclas de concreto.

El hecho de que un gran número de autores se haya ocupado de estos aspectos, esforzándose por expresar cada vez más, mediante nuevas formas, las relaciones básicas que sirven para determinar la influencia que ejercen los distintos componentes del concreto en sus propiedades físico-mecánicas, demuestra que todavía no se ha logrado obtener la solución definitiva de dicha cuestión y que tampoco se ha alcanzado crear tales relaciones para su posible generalización, al efecto de servir adecuadamente en la práctica técnica en todas las condiciones específicas.

Asimismo, una serie de métodos, apoyados en experiencias obtenidas por muchos años y en una cantidad considerable de ensayos de laboratorio, carecen, no obstante, de los datos precisos sobre las condiciones locales bajo las cuales se desarrollaron los trabajos y no permiten establecer una generalización de la aplicación de sus cálculos.

Esto lleva a que el uso de un método u otro sea en función de cada caso, se utiliza el que más se ajusta a las necesidades de la obra, aunque también debemos tener en cuenta que la aplicación de los distintos métodos depende, en gran parte, de la experiencia y costumbres existentes en el lugar donde se vaya a realizar la mezcla.

En efecto, en un principio la dosificación de las mezclas se realizaba in situ, es decir, en la misma obra en la que más tarde se emplearía el concreto. Sin embargo, la exigencia por parte de la normativa de dosificar por peso y no por volumen genera que la producción de concreto en obra prácticamente desaparezca, siendo el empleo de dosificadoras in situ casi exclusivamente en grandes obras.

El estudio de los métodos de dosificación más significativos es un primer paso de cara a dominar el diseño de mezclas de concreto. En este sentido, el análisis en detalle de las metodologías más representativas proporciona unas nociones esenciales en el arte de dosificar, por lo que a continuación se describe el siguiente procedimiento que consideramos básico.

### **Método de Fuller.**

Creado en el año 1907 en los EUA, el método Fuller es uno de los más clásicos y fáciles de aplicar cuando conocemos la cantidad de cemento que deberá tener el concreto; su uso está muy indicado en obras de concreto armado, en las que el tamaño máximo del agregado esté comprendido entre  $50 \pm 20$  mm, la forma de los agregados sea uniforme y la cantidad de cemento por metro cúbico no sea inferior a 300 kg.

Los datos que se nos deben proporcionar son, evidentemente, la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto, la consistencia (que depende del sistema que se vaya a utilizar para compactar el concreto) y la granulometría y densidad relativa de los agregados.

A partir de aquí, nuestro primer objetivo será determinar el tamaño máximo del agregado que utilizaremos en el concreto; a efectos de aplicación del método, se considera como tamaño máximo la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25% al tamizar por él el agregado de mayor tamaño disponible, excluyéndose de esta determinación los grandes cantos de dimensiones anormales.

A continuación, mediante el uso de tablas, podemos encontrar la cantidad de agua por metro cúbico de concreto en función del tipo de agregado utilizado, de su tamaño máximo y de la consistencia que deba tener el concreto. El procedimiento consiste en consultar una tabla base donde se indica la cantidad de agua requerida cuando se emplean agregados de granulometría y características físicas medias.

Una vez que conocemos las cantidades de agua y cemento que vamos a utilizar, el siguiente paso es determinar la proporción en que debemos mezclar los distintos componentes para que el agregado compuesto presente la máxima compacidad. Con este fin, en el método de Fuller se utiliza una curva de referencia cuya granulometría se consideró, según su autor, a la hora de obtener un esqueleto granular compacto, requisito imprescindible en el intento de obtener un buen concreto.

La curva que en este método se toma como modelo para componer los agregados viene definida por la siguiente ecuación:

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Ecuación 3.1

Donde “ $y$ ” es el tanto por ciento en volumen elemental que pasa por cada tamiz de abertura  $d$ , el tamaño máximo del agregado (en mm) es  $D$  y la abertura de cada uno de los tamices de la serie utilizada (en mm).

El método teóricamente especifica lo siguiente:

De esta manera, nuestro objetivo es realizar el ajuste granulométrico de la mezcla de los distintos agregados (es decir, de la curva de composición), a la curva de Fuller, para ello, puede emplearse un sistema de tanteos o bien uno basado en los módulos de finura cuando se emplea la serie de tamices americana ASTM.

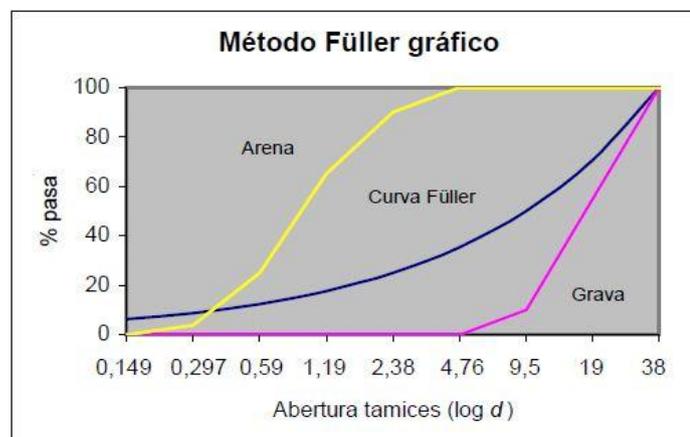


Gráfico 3.1 Ejemplo de datos iniciales en el ajuste granulométrico a la curva de Fuller

La primera de estas resoluciones es gráfica y, en el propósito de conseguir que el agregado resultante se adapte lo más posible a la curva teórica, han de realizarse tanteos hasta que las áreas por encima y por debajo de la curva de referencia queden compensadas. Este procedimiento resulta bastante cómodo, rápido y, con un poco de práctica, suelen hacer falta

pocos tanteos para lograr que la curva de composición se ciña lo mejor posible a la curva de referencia.

La resolución numérica del método de Fuller es más exacta que la anterior. La idea es obtener una mezcla que tenga el mismo módulo de finura que la curva de referencia; para ello, en primer lugar se calculan los módulos de finura de las  $n$  fracciones que componen el agregado y, a continuación, los módulos finura de las curvas de Fuller cuyos tamaños máximos coinciden con los de las fracciones 2,3,...,  $n$ . A partir de aquí plantearemos un sistema de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas que serán los tantos por ciento que debemos emplear para que la granulometría de la mezcla se ajuste a la curva de referencia.

Una vez obtenida la proporción en que se han de mezclar las distintas fracciones de los agregados, ya podemos determinar la dosificación por metro cúbico, partiendo de la base que la suma de los volúmenes relativos de los componentes será igual al volumen del concreto obtenido.

De esta manera será necesario restar al volumen total las cantidades de agua y cemento, en volumen, anteriormente halladas; el resto será el volumen relativo de los agregados, que habrá que repartir entre las distintas fracciones en la proporción determinada con anterioridad.

Para pasar de volúmenes relativos a pesos tan solo tendremos que multiplicar las cantidades halladas por las densidades relativas, que son dato del problema.

Es importante destacar que los pesos obtenidos son para agregados secos; no obstante, es frecuente que los agregados estén más o menos húmedos, por lo que habrá que hacer las oportunas correcciones.

En El Salvador el método Fuller sufre ciertas modificaciones, debido a que no existe variabilidad del agregado fino, por tal razón al momento de dosificar concretos bajo este método se considera el agregado fino como constante, muchos expertos y técnicos suelen denominarle material de relleno.

Por lo que el método está basado en la utilización de dos tipos de agregados gruesos de distintas granulometrías, La combinación correcta de ambos deberá de ajustarse lo mejor posible a la curva ideal establecida por el autor.

El proceso puede entonces realizarse de la misma manera como lo establece el autor por un método de tanteo el cual puede facilitarse utilizando una matriz (Tabla 3.3) o de una manera más exacta utilizando las ecuación (ecuación 3.1)

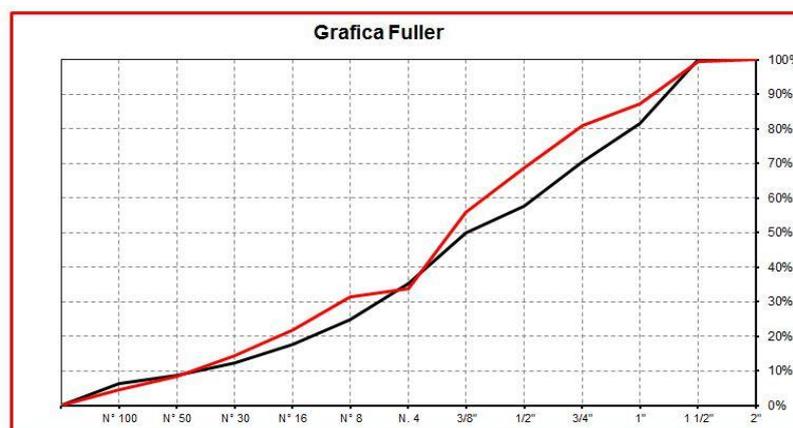


Gráfico 3.2 combinación de agregados gruesos.  
Fuente: Material proporcionado por Ing. Guillermo Flores

Tamaño del Agregado	Agregado Fino						Agregado Grueso						% Pasa		(d/D) <sup>e</sup>	
	32.5%			0%			67.5%			30%						Integral
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Peso Retenido	% Pasa Acumulado	Peso Retenido	% Pasa Acumulado				
	100%	70%	0%	0%	70%	30%										
2"	50.8	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	100.0%	100%			
1 1/2"	38.1	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	480.00	97.0%	99%	100%			
1"	25.4	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	9500.00	36.9%	87%	82%			
3/4"	19.0	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	40.0	99.6%	4720.00	7.0%	81%	71%			
1/2"	12.7	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	2480.0	76.1%	1000.00	0.7%	69%	58%			
3/8"	9.51	0.0	100.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	2840.0	49.2%	5.00	0.6%	56%	50%			
N° 4	4.76	3.0	99.4%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	4860.0	3.2%	0.00	0.6%	34%	35%			
N° 8	2.38	26.9	94.5%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	180.0	1.5%	0.00	0.6%	32%	25%			
N° 16	1.19	159.6	65.1%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	1.5%	0.00	0.6%	22%	18%			
N° 30	0.595	126.1	41.9%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	1.5%	0.00	0.6%	14%	12%			
N° 50	0.297	100.2	23.4%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	1.5%	0.00	0.6%	8%	9%			
N° 100	0.149	65.6	11.4%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	1.5%	0.00	0.6%	5%	6%			
Fondo		61.7	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	160.0	0.0%	100.00	0.0%	0%	0%			
SUMAS		543.1 gr.		0.0 gr.		10,560.0 gr.		15,805.0 gr.								

Tabla 3.3: Matriz Utilizada para la resolución del método Fuller  
Fuente: Material proporcionado por Ing. Guillermo Flores

### **3.2.2.3.2 GRANULOMETRÍA SHILSTONE**

En general, los agregados son químicamente y dimensionalmente estables, por lo tanto, es deseable maximizar el contenido de agregado en las mezclas de concreto en comparación con la pasta de cemento que es más reactiva químicamente. Agregados bien graduados reducen el espacio entre las partículas que tiene que ser llenado con la pasta cementante, también contribuyen a lograr una mezcla trabajable con una cantidad mínima de agua.

Shilstone considera que la mejor manera de especificar y seleccionar proporciones de la mezcla es a través del análisis de clasificación combinada (Shilstone 1990).

Los procedimientos de diseño de mezclas de concreto consideran las proporciones de agregado grueso y fino sin una preocupación respecto a la graduación combinada o total. Investigaciones en la granulometría combinada de los agregados han encontrado que hay una relación entre la graduación del agregado, la resistencia del concreto y la trabajabilidad. Un agregado combinado bien graduado incluye tamaños intermedios de partículas que rellenan los vacíos típicamente ocupados por la pasta de cemento, menos densa. Esto maximiza la densidad de las partículas de agregado. En términos de riesgo, para agrietamiento no controlado, el incremento de la densidad de las partículas resulta en lo siguiente:

Reduce la demanda de agua de mezclado y por lo tanto, una resistencia más alta a través de una disminución de la cantidad de mortero necesario para llenar los vacíos.

Mayor durabilidad al reducirse las trayectorias de penetración de agua dentro de la mezcla endurecida.

Menos contracción por secado.

Mayor trabajabilidad.

Desarrollo de resistencia temprana mejorada.

Una herramienta simple está disponible para evaluar una mezcla de concreto por trabajabilidad y riesgo de problemas tales como agrietamiento no controlado. La herramienta fue adoptada para el trabajo de Shilstone & Asociados y validada por la Fuerza Aérea de Estados Unidos.

Para predecir las características de la mezcla de concreto se requiere la comparación del factor de grosor y del factor de trabajabilidad. El factor de grosor es definido como el porcentaje de material acumulado retenido en la malla de 9.5 mm (3/8"), dividida por el porcentaje de material acumulado retenido en la malla de 2.36 mm (No. 8) multiplicado por 100. El factor de trabajabilidad es definido como el porcentaje de material pasando la malla de 2.36 mm (No. 8).

Las zonas del factor de grosor identifican regiones (Figura 3.3) donde al ser graficados las mezclas de concreto tendrán características generalmente previsibles:

La Zona I indica que es una mezcla que contiene vacíos y tiene un alto potencial para la segregación durante la colocación y/o la consolidación debido a una deficiencia en partículas intermedias. Estas mezclas probablemente no son cohesivas, por lo tanto, puede ocurrir la segregación. Mezclas graficadas en esta zona pueden causar grietas locales, formación de ampollas, exfoliación y descamación.

La Zona II indica una mezcla óptima para concreto con tamaño máximo nominal del agregado de 50 mm (2 pulg.) a 19 mm (3/4 pulg.) Las mezclas de esta zona producen generalmente concretos consistentes de alta calidad. Las mezclas que se trazan cerca de la barra de la tendencia o cerca de los límites de las zonas I y IV requieren un estrecho control y ajustes en las proporciones, ya que pequeñas variaciones en las cantidades consecutivas puede dar como resultado que el agregado sea trazado fuera de la Zona II.

La Zona III es una extensión de la Zona II, indica una mezcla óptima para agregados con tamaños máximos nominales de menos de 19 mm (3/4 pulg.)

La Zona IV indica cantidad excesiva de finos y un alto potencial para la segregación durante la consolidación y acabado. Tales mezclas producirán resistencias variables, tienen alta permeabilidad, y están expuestas a la contracción, que generalmente contribuye al desarrollo de la formación de grietas, deformaciones por alabeo, astillamiento y descamación. Que no son deseables.

La Zona V indica una mezcla que tiene una cantidad excesiva de agregado grueso e intermedio y no es plástico.

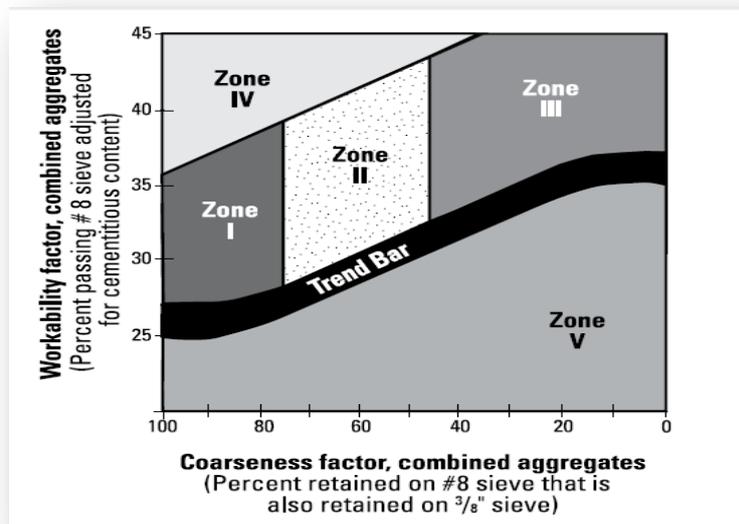


Figura 3.3: Carta del factor de grosor y trabajabilidad (Shilstone 1990)  
Fuente: Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement, FHWA

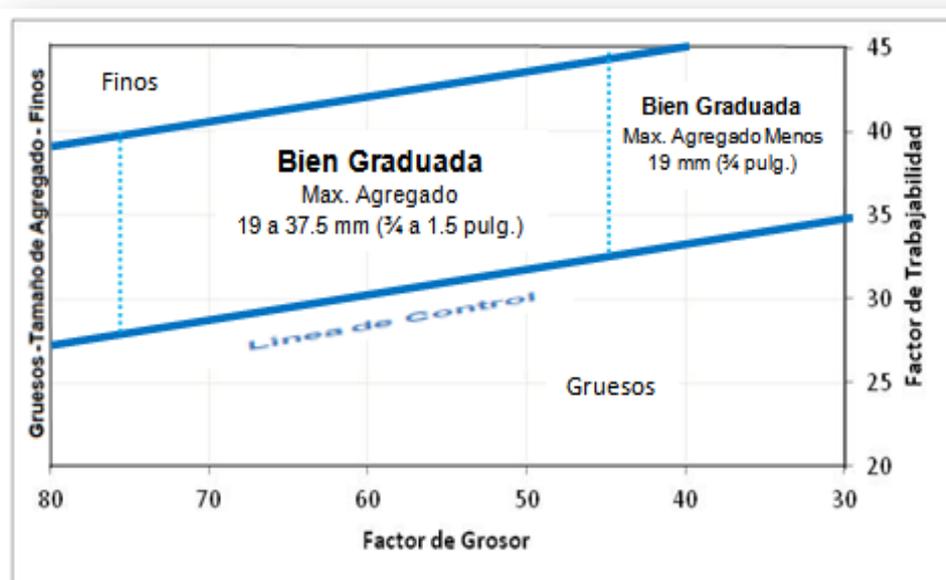
La Figura 3.4 es usada para calificar las características del concreto a partir de sus factores de grosor (CF) y trabajabilidad, hay 5 zonas en la gráfica:

Concreto hecho con agregado combinado en la zona arenosa ( $CF > 80$ ) tendiente a demandar más agua y resulta en mayor concentración por secado que mezclas en las zona bien graduada. Estas mezclas son difíciles de acabar y usualmente tenían acumulación excesiva de lentes superficiales. Concreto hecho con agregado combinado en la zona de gruesos (abajo de la línea de control) tiende a ser duro, dificultando el acabado y sujeto a consolidación pobre y vacíos superficiales.

Concreto hecho con agregado combinado en la zona bien graduada, se colocan fácilmente y no son propensos a problemas tempranos.

Concreto hecho con agregado combinado en la zona de la franja de graduación gruesa ( $75 < CF < 80$ ) experimenta resultados variables incluyendo segregación, vacíos no controlados y lentes excesivos. Solamente algunos proyectos resultan en pavimento libre de defectos.

El concreto ideal para el riesgo mínimo de grietas no controladas u otro defecto y/o problemas, son aquellos hechos con agregado combinado con un factor de grosor debajo de 75 y factor de trabajabilidad arriba de 29.



Nota:

1. Factor de Grosor  $\frac{\% \text{ Retenido Acumulado en malla } 9.5 \text{ mm } (3/8)}{\% \text{ Retenido Acumulado en malla } 8}$
2. Factor de Trabajabilidad = % que pasa malla No.8.

Figura 3.4: Rango de Trabajabilidad definido por la US Fuerza Aérea.  
Fuente: Revista 48, año 13, ISCYC.

La Figura 3.4 no predice con seguridad el desempeño o calidad. Otras variables deben ser consideradas. Incluyendo la variabilidad de los materiales de agregado natural para el concreto. La Figura 3.4 muestra la variación diaria que la graduación de los agregados experimenta en un lugar de prueba. El factor de grosor puede ser variado como mucho en 15 puntos. Considerando esta variabilidad, es comprensible que el contratista puede experimentar una variabilidad en colocación y acabado, aun cuando la mezcla de concreto usado tengan una fuente única de materiales de trabajo. En la planta, las proporciones por peso son precisamente controladas, pero la graduación puede ser y de hecho, es variable.

Es recomendable usar al menos tres tamaños de agregados (dos gruesos y uno fino) para asegurar una distribución de partículas más consistentes. El tercer agregado es predominantemente de tamaño intermedio ( $3/8''$  a No 8) para proporcionar un puente entre las partículas grandes y el mortero, rellenando mejor los vacíos e incrementando la densidad del concreto. Cuando son especificados tamaños de agregados ( $1\frac{1}{2}''$  a No 4), tres tamaños de agregado grueso deben ser usados.

Shilstone también ha promovido el uso de un método de graduación representado mediante el uso de un porcentaje individual retenido (IPR) vs el tamaño de cada tamiz. Con esto, es fácil de determinar qué tamaño son excesivos o deficientes. Los agregados para que sean satisfactorios deberán de cumplir con la especificación ASTM C 33.

La Figura 3.5 ilustra gráficamente la distribución de las partículas de agregado en una gráfica del porcentaje de agregado retenido para cada tamaño de tamiz (Shilstone 1990). Una mejor distribución de partículas de agregado combinado no presenta huecos en las partículas intermedias, como se ilustra en el gráfico de la Figura 3.5.

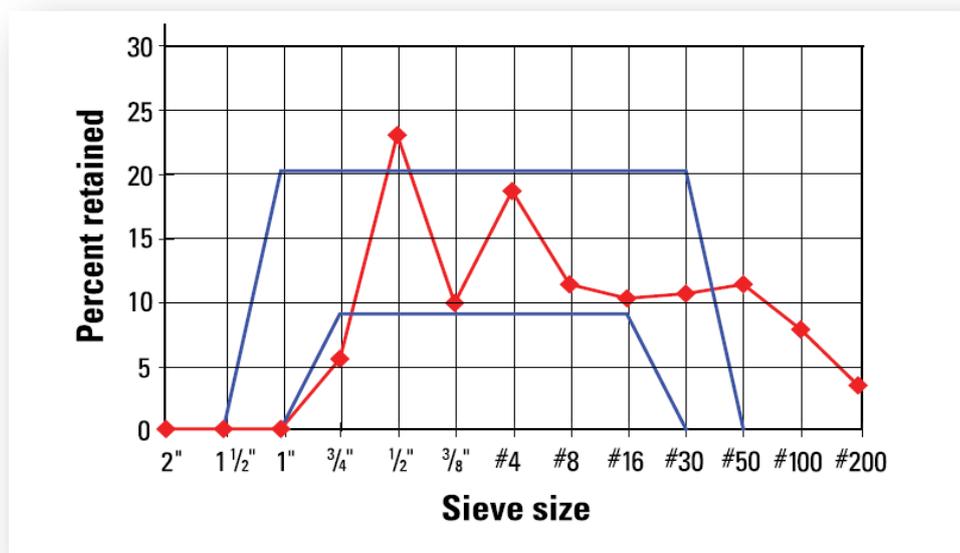


Figura 3.5: Gráfico del porcentaje retenido

Fuente: Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement, FHWA

Este procedimiento proporciona una tolerancia de uniformidad aceptable en la distribución total de las partículas de agregado combinados, que se encuentran en la mezcla. A continuación se definen las tolerancias recomendadas por el comité ACI 302 (Guide for Concrete Floor and Slab Construction).

### Granulometría de los agregados combinados<sup>2</sup>.

Las graduaciones requieren entre 8 y 18% para los grandes agregados de tamaño máximo tales como 1½" pulgadas (38 mm) o de 8 y 22% para pequeños agregados de tamaño máximo como de 1 o ¾ de pulgadas (25 o 19 mm) retenidos en cada tamiz, debajo del tamaño máximo y sobre el tamiz N° 100 (150 µm). Esta distribución de agregados combinados ha resultado satisfactoria en la reducción de la demanda de agua que además proporciona una buena trabajabilidad. El rango ideal del porcentaje de material retenido en cada uno; para los tamices N° 30 y N° 50 (600 y 300 µm) debe ser de 8 a 15%. Con frecuencia, se requiere un tercer agregado para lograr esta graduación (Shilstone 1990).

Por lo general, una mezcla bien graduada tendrá de 0 a 4% retenido en el tamiz de tamaño máximo y de 1.5 a 5.0% en el tamiz N° 100 (150 µm). Esta distribución del tamaño de partículas es adecuado para partículas en forma redonda o en forma cúbica en los tamices de tamaño N° 4 a N° 16 (4.75-1.18 mm). Sin embargo, si los agregados disponibles para estos tamaños están astillados, angulosos o alargados, entonces del 4 al 8% del material retenido en cualquier tamiz sería apropiado. Las proporciones de mezcla deben ajustarse cada vez que la granulometría de los agregados individuales varíe durante el curso de la obra.

---

<sup>2</sup> ACI 302: Guide for Concrete Floor and Slab Construction

Las limitaciones en los materiales disponibles a nivel local pueden dar lugar a una necesidad en las desviaciones de las recomendaciones óptimas antes mencionados. Las siguientes limitaciones siempre se deben imponer:

No permita que el porcentaje retenido en dos tamices de tamaños adyacentes caigan por debajo del 5%.

No permita que el porcentaje retenido en tres tamaños de tamices adyacentes caigan por debajo del 8%, y

Cuando el porcentaje retenido en cada uno de los dos tamaños de tamices adyacentes es menor que 8%, el porcentaje total retenido en cualquiera de estos tamices y el tamiz exterior adyacente deben ser por lo menos un 13%.

Por ejemplo, si tanto los tamices N° 4 y N° 8 (4.75 y 2.36 mm) tienen un 6% retenido cada uno, entonces:

a) El total retenido en los tamices 3/8" y N° 4 (9.5 y 4.75 mm) deben estar en menos de 13%, y

b) El total retenido en los tamices N° 8 y N° 16 (2.36 y 1.18 mm) deben ser por lo menos un 13%. Se debe prestar especial atención a los casos en los que la suma del porcentaje retenido en dos tamices adyacentes es menos del 13 por ciento del agregado total.

En el año 1933, Weymouth describió la importancia de las agrupaciones contra los tamaños de tamices individuales. Si existe una deficiencia en un tamiz pero exceso en un tamiz adyacente, los dos tamaños son un grupo y ellos se equilibran entre sí. Cuando hay una deficiencia en partículas sobre cada uno de los dos tamaños de tamices adyacentes pero abundancia en

los tamices adyacentes a cada uno, los tamaños adyacentes tienden a equilibrar el valle de dos puntos. Si hay tres tamaños adyacentes deficientes, hay un problema que debe ser corregido.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS**

Las Propiedades que debe poseer un concreto que se utiliza para pavimentos rígidos son las mismas que las del concreto de cemento Portland en forma convencional, se debe de revisar cada una de las propiedades según las especificaciones de cada proyecto.

#### **3.3.1 REVENIMIENTO**

El revenimiento o consistencia de acuerdo a las ASTM C 143 sirve para determinar variaciones en la uniformidad entre las diferentes mezclas de concreto. Es una característica que está relacionada principalmente con la movilidad, pero también considera la facilidad con que la mezcla se puede compactar, también se considera que ésta característica determina la facilidad con que una mezcla puede ser compactada, da una idea de la trabajabilidad y de la facilidad del concreto puesto en obra.

La prueba no constituye una medida de resistencia, de durabilidad o de comportamiento futuro, desde un punto de vista práctico, lo deseable es que la mezcla de concreto fluya con facilidad pero permanezca homogénea, sin

embargo, los requerimiento para que se cumplan estas 2 condiciones siguen tendencias contrarias, pues al aumentar la movilidad de la mezcla de concreto, disminuye su posibilidad de permanecer homogénea. El revenimiento o consistencia es representativo de la resistencia que el concreto opone para deformarse y fluir; entonces puede hablarse de grados de consistencia valorables en función de dicha resistencia a la deformación y flujo. Debido a que no hay un procedimiento de aceptación general para medir cuantitativamente esta resistencia, en la práctica normalmente se utilizan dos modelos para expresar los grados de consistencia del concreto, por una parte en términos descriptivos, basados en la apariencia del concreto y la apariencia que estos exhiben al ser manipulados, y por otra parte en términos cuantitativos, con base a los resultados de una prueba específica. En referencia a lo términos descriptivos podemos observar en la Tabla 3.4 los rangos de revenimiento de acuerdo a su consistencia.

Consistencia de la mezcla	Rango de revenimiento (cm)
Extremadamente duro	0
Muy duro	0
Duro	2.5
Semi plástico	2.5 - 7.5
Plástico	7.5 - 12.5
Semi-Fluida	12.5 – 20
Fluida	>20

Tabla 3.4: Rangos de revenimiento de acuerdo a su consistencia  
Fuente: Material de apoyo de Tecnología del concreto

### 3.3.2 RELACION AGUA/CEMENTO

Si se combinan materiales satisfactorios en una mezcla trabajable de concreto que se deja envejecer en condiciones satisfactorias de curado, la relación agua/cemento de la mezcla influirá mucho sobre la resistencia del concreto endurecido con un envejecimiento dado. La posición exacta de la curva de resistencia contra la relación agua/cemento dependerá de las propiedades de cada uno de los ingredientes, las proporciones de los ingredientes, los métodos de mezclados, colado y los métodos de curado.

Las proporciones de la mezcla de concreto se especifican de muchas maneras. Sin importar el método para especificar las proporciones, la consideración más importante para obtener una buena resistencia es el uso de una mezcla trabajable con una relación agua/cemento que sea tan baja como se pueda. Un concreto que no tenga especificada su relación agua/cemento puede tener un amplio rango de resistencias. A continuación se muestran las Figuras 3.6 y 3.7 diferentes relaciones a/c que se emplean en la construcción de pavimentos rígidos.

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

\*Values are estimated average strengths for concrete containing not more than 2 percent air for non-air-entrained concrete and 6 percent total air content for air-entrained concrete. For a constant water-cement ratio, the strength of concrete is reduced as the air content is increased.

Strength is based on 152 x 305 mm cylinders moist-cured for 28 days in accordance with the sections on "Initial Curing" and "Curing of Cylinders for Checking the Adequacy of Laboratory Mixture Proportions for Strength or as the Basis for Acceptance or for Quality Control" of ASTM Method C 31 for Making and Curing Concrete Specimens in the Field. These are cylinders cured moist at 23 ± 1.7 C prior to testing.

The relationship in this Table assumes a nominal maximum aggregate size of about 19 to 25 mm. For a given source of aggregate, strength produced at a given water-cement ratio will increase as nominal maximum size of aggregate decreases; see Sections 3.4 and 5.3.2.

Figura 3.6: Resistencia a compresión esperada para distintas relaciones a/c  
Fuente: Diplomado pavimentos rígidos FIA UES.

Type of structure	Structure wet continuously or frequently and exposed to freezing and thawing†	Structure exposed to sea water or sulfates
Thin sections (railings, curbs, sills, ledges, ornamental work) and sections with less than 5 mm cover over steel	0.45	0.40‡
All other structures	0.50	0.45‡

\*Based on ACI 201.2R.  
†Concrete should also be air-entrained.  
‡If sulfate resisting cement (Type II or Type V of ASTM C 150) is used, permissible water-cement ratio may be increased by 0.05.

Figura 3.7: Máxima relación a/c para diseño de concreto por durabilidad  
Fuente: Diplomado pavimentos rígidos FIA UES.

### **3.3.3 CONTENIDO DE AIRE**

El aire incluido debe ser utilizado en todo concreto que este expuesto a congelación y deshielo y a productos químicos descongelantes y puede emplearse para mejorar la trabajabilidad aun donde no se requiere.

La inclusión de aire se logra empleando un cemento portland inclusor de aire o agregando un aditivo inclusor de aire en el mezclador. La cantidad de aditivos deberá ajustarse para hacer frente a las variaciones en los ingredientes del concreto y en las condiciones de trabajo. La cantidad recomendada por el fabricante del aditivo producirá el contenido de aire deseado en la mayoría de los casos. Los contenidos de aire recomendado para los concretos con aire incluido se muestran en la Tabla 3.5

Agua , Kg por metro cubico, para los tamaños máximos de agregados indicados										
revenimiento	9.5 mm	12.7	19	25.4	38.1	50.8	76.2	152.4		
<b>concreto sin aire incluido</b>										
2.5 a 5	208	199	187	178	163	154	130	113		
7.5 a 10	228	217	202	193	178	169	145	125		
15 a 18	243	228	214	202	187	178	160			
cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2		
<b>concreto con aire incluido</b>										
2.5 a 5	181	175	166	160	148	142	122	107		
7.5 a 10	202	193	181	175	163	157	134	119		
15 a 18	216	205	193	184	172	166	154			
<b>contenido de aire total promedio recomendado, porcentaje, para el nivel de exposición</b>										
baja	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1		
exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3		
severa	7.5	7	6	6	6	5	4.5	4		

Tabla 3.5: Contenido de aires recomendados para concretos con aire incluido  
Fuente: Material de apoyo de Tecnología del concreto

### 3.3.4 TEMPERATURA

Es un parámetro importante a tomar en cuenta sobre todo en aquellos proyectos donde las especificaciones establecen claramente la temperatura a la cual se deberá colocar el concreto para evitar problemas de evaporación o migración del agua del concreto, los valores ideales se encuentran en el orden de 10°C a 15°C las cuales en nuestro medio son imposibles de conseguir.

Por ejemplo: en proyectos donde se especifique temperaturas que en ningún momento sean mayores a 32 °C, que son las temperaturas típicas del país las cuales se pueden lograr alrededor de las 6:00 a.m. se deberá utilizar agua fría o tratadas con un filler para lograr bajar la temperatura del cemento que alcanza rangos entre los 45 °C a 50 °C

La variación de la temperatura del concreto al ser mezclado, puede ser una causa importante de cambios en la consistencia de las mezclas y un obstáculo para lograr una adecuada uniformidad en la calidad del concreto.

Depende básicamente de la temperatura de cada uno de sus componentes y de las respectivas cantidades en que se emplean, de manera que puede ser calculada con razonable aproximación conociendo dichas temperaturas y cantidades.

Sin embargo, debido a que el agua se utiliza en menor proporción y porque en condiciones ordinarias su temperatura se mantiene razonablemente estable durante el suministro, son más bien el cemento y los agregados los

componentes cuyas variaciones de temperatura suelen reflejarse en las temperaturas resultantes en las mezclas de concreto.

La temperatura con que el concreto se elabora tiene consecuencias inmediatas en el requerimiento de agua y en la consistencia de la mezcla, y su variación produce efectos con tendencias; esto es, al variar la temperatura de elaboración del concreto se modifica sensiblemente el revenimiento y por consiguiente, para mantenerlo constante, se hace necesario ajustar convenientemente el contenido de agua de mezcla.

Se recomienda que no se coloque las cimbras a una temperatura mayor de 32 °C en ambiente caluroso, y que esta temperatura límite se reduzca a 27 °C si además de caluroso el ambiente es seco.

Se puede suponer que cuando la temperatura media diaria exceda a 30°C, ya resulta difícil mantener por debajo de 32 °C la temperatura del concreto.

### **3.3.5 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS**

Cuando se habla de condiciones climatológicas es hablar del tiempo que el concreto debe protegerse contra la pérdida de humedad, esto depende del tipo de cemento, de las proporciones de la mezcla, de la resistencia necesaria, del tamaño y forma de la masa de concreto, del tiempo y de las futuras condiciones de exposición.

El cuidado necesario que se le debe dar al concreto debe ser el adecuado para evitar en lo posible dos fenómenos que a continuación se describen:

La contracción que algunas veces ocurre en la superficie del concreto fresco poco después de haber sido colado y cuando todavía está en el estado plástico se llama **“agrietamiento por plasticidad”**. Estas grietas aparecen en su mayor parte en superficies horizontales y pueden prácticamente eliminarse si se toman las medidas adecuadas para disminuir sus causas al mínimo.

El **agrietamiento por contracción** debida a la plasticidad se asocia usualmente a los colados hechos en tiempo caluroso; sin embargo, puede ocurrir en cualquier tiempo, cuando las circunstancias producen una rápida evaporación de la humedad de la superficie de concreto. Estas grietas pueden aparecer cuando la evaporación excede a la rapidez del agua para subir a la superficie del concreto. (Ver Figura 3.8).

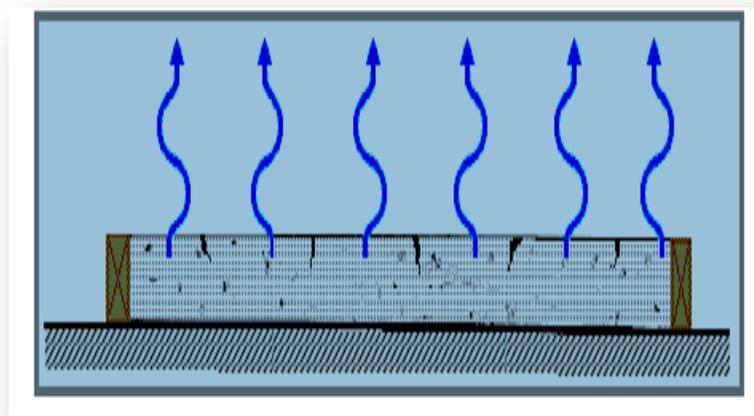


Figura 3.8: Rapidez del agua al subir a la superficie  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

Las siguientes condiciones, solas o combinadas, aumentan la evaporación de la humedad superficial y aumentan la posibilidad de la contracción por plasticidad (Figura 3.9).

- Elevada temperatura del concreto
- Elevada temperatura del aire
- Baja humedad
- Vientos fuertes

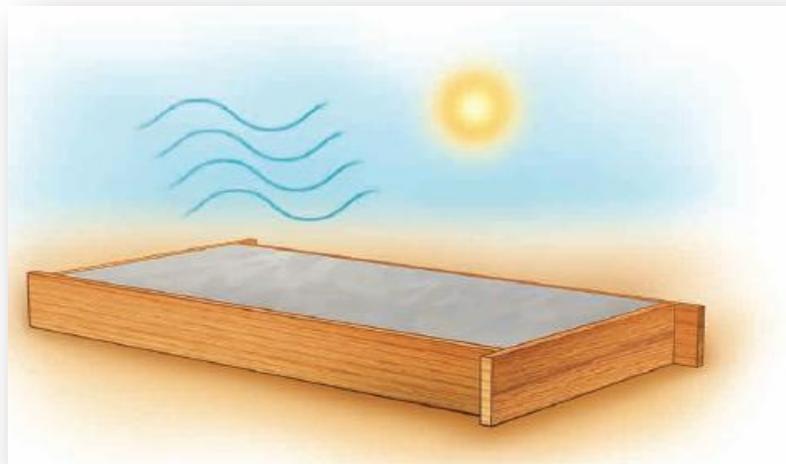


Figura 3.9: Condiciones Climatológicas  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

### **Colocación En Climas Cálidos**

Algunas consideraciones a tomar en cuenta:

En clima cálido, el dar sombra, cubrir el concreto con material húmedo o pintarlo de blanco, ayuda a disminuir la pérdida de revenimiento y a minimizar la elevación de temperatura del concreto.

La planeación de los procedimientos para enfriar cantidades grandes de concreto mezclado necesita hacerse con mucha anticipación a la colocación e instalación de equipo especializado. Entre éstos se puede mencionar el enfriamiento del agua de mezclado por medio de equipos enfriadores de agua o con la tecnología de bombas de calor, o por métodos como pueden ser la sustitución de una parte del agua de mezclado por hielo triturado o raspado, o enfriando la mezcla con nitrógeno líquido.

La experiencia de campo indica que el retraso del fraguado del concreto se puede todavía alargar más si se dosifica por separado el aditivo retardante con una pequeña parte del agua de mezclado después de haber mezclado el concreto varios minutos. Estos aditivos, junto con los materiales cementantes y los demás ingredientes propuestos para el proyecto, deben ser evaluados en el campo para obtener las propiedades deseadas.

A medida que pasa el tiempo se produce hidratación del cemento, pérdida de revenimiento, desgaste de los agregados o eventualmente colocar concreto en clima cálido se puede definir como un período de alta temperatura en el cual se

necesita tomar suficientes precauciones especiales para asegurar una apropiada manipulación en el vaciado, acabado y curado del concreto.

Una situación que produce desagradables consecuencias cuando no se adoptan las precauciones de colocación en clima cálido, es la relacionada con las fisuras que aparecen a las pocas horas de haberse colocado el concreto.

Este fenómeno, equivocadamente relacionado de manera exclusiva con la temperatura del concreto, es provocado por la combinación de los factores (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y tasa de evaporación) y estos afectan al concreto de dos formas importantes:

Un elevado ritmo de evaporación puede inducir a una temprana fisuración por contracción plástica o por contracción de secado.

El ritmo de evaporación puede también eliminar el agua de la superficie necesaria para la hidratación del material cementante, cuando dicha tasa de evaporación excede la capacidad que el concreto tiene para entregar agua.

Todo esto nos lleva a que la temperatura del concreto es una variable importante que se tiene que controlar sin olvidar que dentro de los procesos constructivos de un pavimento u otra estructura, es importante controlar las variables de velocidad del viento, humedad relativa y la temperatura ambiente.

De acuerdo con lo anterior y observando la importancia de controlar las variables de colocación y las recomendaciones de vaciado en clima cálido hacemos referencia a la norma ACI 305 (Guide to Hot Weather Concreting), norma que dice cómo estimar la tasa de evaporación basada en todos los factores principales que contribuyen a las fisuras en estado plástico. La Figura 3.10 muestra la gráfica de cómo se calcula la tasa de evaporación.

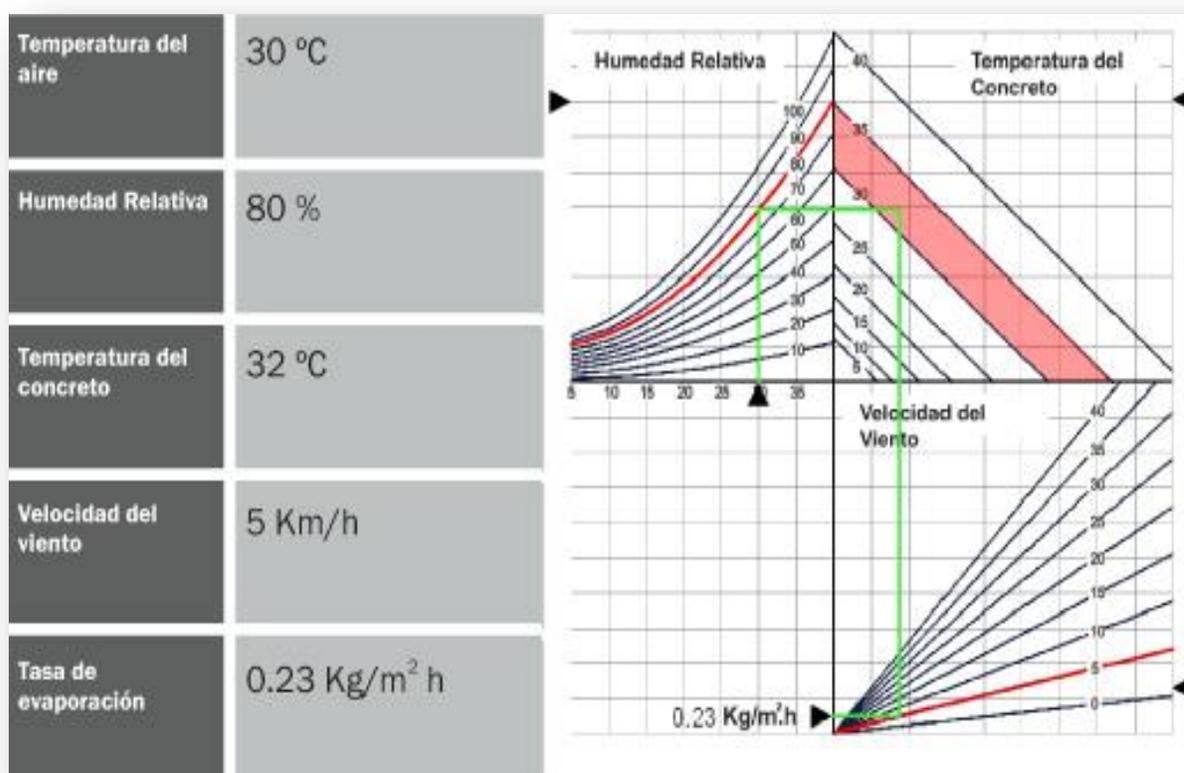


Figura 3.10: Uso del nomograma del ACI 305

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

Es importante que a la hora de planificar proyectos en clima cálido se tengan en cuenta todos los factores que afectan la tasa de evaporación debido a los efectos potenciales sobre la mezcla recién colocada.

Las altas temperaturas por sí solas causan un incremento de la demanda de agua, lo cual elevan la relación agua/cemento resultando en una más baja resistencia. Las temperaturas más altas tienden a acelerar la pérdida de asentamiento, afectado la manejabilidad del concreto y de esta manera hacen que el concreto genere un fraguado más rápido.

Buenas prácticas de vaciado de concreto en clima cálido (Figura 3.11):

- Conocer y monitorear regularmente los reportes de temperatura del aire, exposición solar, humedad relativa y la velocidad del viento ayudan a determinar la tasa de evaporación estimada para tomar las medidas preventivas necesarias.
- Realizar los vaciados de concreto cuando las temperaturas sean las más favorables.
- Utilizar una mezcla de concreto con un asentamiento adecuado que permita una colocación rápida y un buen acabado.
- Revisar las especificaciones con el diseñador de la estructura para garantizar que estén acordes en las buenas prácticas de colocación y protección del concreto.

- Determinar el plazo para el logro de la máxima temperatura del concreto en la estructura.
- Reducir las distancias de transporte, acarreo y colocación.
- Utilizar la mayor cantidad de personas posible durante la colocación y compactación del concreto.
- Proteger el concreto contra la pérdida de humedad durante la colocación y el curado.
- Controlar los procesos de colocación, protección y curado según el requerimiento o comportamientos térmicos esperados durante el periodo especificado por el diseñador de la estructura.
- Posterior a la colocación del concreto se debe continuar con la protección del concreto de altas temperaturas, los rayos del sol, baja humedad y los vientos que puede superficialmente secarlo.
- Procedimiento de curado con agua para asegurar el desarrollo adecuado de las resistencias y minimizar las fisuras por secado.
- Protección contra el sol y el viento como parte del tratamiento del curado.
  
- Posterior al fraguado final del concreto es necesario humedecer la superficie sin que el agua se acumule. Es importante que en la noche se proteja al concreto de las bajas temperaturas para evitar fisuramiento por el diferencial de temperatura.



Figura 3.11: Prácticas de protección del concreto  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

### Control De Colocación En Clima Frío

Como recomendaciones generales para colado en clima frío, es preferible efectuarlo por la tarde, cuando los agregados tienen su mayor temperatura, así como calentar el agua de hidratación y efectuar el curado con membrana plástica en vez de agua (Ver figura 3.12).



Figura 3.12: Curado con membranas plásticas.  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Ing. Lesly Mendoza

Se deberá garantizar el control satisfactorio de la producción y la entrega. La planta de concreto y las unidades de entrega del mismo deberán estar en buenas condiciones de servicio. La suspensión intermitente de las entregas debidas a descomposturas del equipo puede resultar mucho más seria en climas calurosos que en temperaturas moderadas.

En las operaciones de colocación del concreto en climas calurosos los colados se pueden programar en horas que no sean durante el día.

En nuestro medio las condiciones climatológicas frías no se presentan como en otros lugares.

# **CAPÍTULO IV**

## **TRABAJO DE LABORATORIO**

## 4.1 INTRODUCCIÓN

El Diseño de mezclas de concreto Hidráulico para pavimentos rígidos incluye muchas propiedades que se deben tomar en cuenta entre las cuales se puede mencionar la resistencia a la Flexión, compactación, trabajabilidad y durabilidad.

Las metodologías Fuller y Shilstone que son las que se estudian en esta investigación, comprenden el estudio de la resistencia a la Flexión, además de tener en cuenta las propiedades de los agregados que se van a utilizar para la realización de las mezclas de concreto Hidráulico, para ellos es necesario realizar diferentes pruebas de laboratorio a los agregados; en donde cada una de éstas pruebas sustentadas según las especificaciones de ASTM.

Básicamente las metodologías comprenden las siguientes etapas:

Selección del revenimiento

Selección de los agregados

Estimación del agua y contenido de aire

Selección de la relación a/c

Estimación del contenido de agregado grueso

Estimación del contenido de agregado fino

Ajustes por contenido de humedad en los materiales

Ajustes por mezclas de prueba

A continuación explicaremos más detalladamente cada una de las pruebas para obtener el diseño de mezcla que se utilizara en el desarrollo de esta investigación.

## **4.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Para el desarrollo del trabajo experimental se tomara en cuenta cada uno de los ensayos que se le deben realizar a los agregados, así como cada una de las propiedades que son indispensables en una mezcla de concreto hidráulico utilizada en pavimentos rígidos.

Para realizar dicha investigación se contará con 7 etapas, las cuales seguirán un orden lógico de los estados del concreto, a continuación se detallan cada una de ellas:

ETAPA I: Selección de los materiales a utilizar

ETAPA II: Pruebas de laboratorio a los agregados de la mezcla

ETAPA III: Diseño de la Mezcla

ETAPA IV: Hechura de la Mezcla y Elaboración de especímenes de concreto

ETAPA V: Ensayos al concreto fresco

ETAPA VI: Ensayos al concreto endurecido

## ETAPA VII: Análisis de resultados

La ETAPA I consiste en seleccionar el tipo de material que se va utilizar en las mezclas de concreto Hidráulico, además de describir las características de los componentes a utilizar: cemento, agregados, agua y aditivo. A partir de estas características que deben cumplir los materiales procedemos a la ETAPA II donde se deberán realizar las diferentes pruebas de laboratorio a los agregados que se utilizarán en la mezcla de concreto Hidráulico cumpliendo con lo respectivas normas entre las cuales podemos mencionar: análisis granulométrico, gravedad específica y absorción, contenido de humedad, peso volumétrico. Luego en la ETAPA III se realizaran los diseños teóricos de la mezcla de concreto Hidráulico basados en las metodologías de dosificación Fuller y Shilstone, donde esta serán diseñadas de acuerdo a la resistencia esperada y si esto es satisfactorio; éstos diseños serán reproducidos en grandes cantidades para pasar a la ETAPA IV donde estos diseño de mezcla se elaboraran como una mezcla definitiva para posteriormente iniciar con la hechura de los especímenes para cilindros y viguetas, cumpliendo con las respectivos ensayos al concreto fresco (revenimiento, temperatura, contenido de aire) que es la ETAPA V. Cumpliéndose con estas propiedades se realizarán los especímenes cilíndricos y las viguetas para ser evaluados a los 7 y 28 días efectuando de esta manera la ETAPA VI que consiste en los ensayos al

concreto endurecido, finalmente se tabularan los resultados y se analizaran cumpliéndose la ETAPA VII análisis de resultados.

### **4.3 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR**

A continuación explicaremos cada una de las etapas que se desarrollará en esta investigación donde se tendrán muy en cuenta los diferentes procesos de control de calidad tanto para los agregados, concreto fresco y concreto endurecido.

#### **4.3.1 ETAPA I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZAR**

Los materiales que se utilizarán en esta investigación para la mezcla de concreto Hidráulico son los siguientes: agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y aditivo.

Para obtener buenos resultados en las dosificaciones es importante conocer cada una de las características de los materiales para luego realizar los cálculos para el proporcionamiento definitivo.

#### **4.3.1.1 AGREGADOS**

Para la selección de los agregados que se utilizarán en la investigación es necesario que estos cumplan las características según lo establezca ASTM C 33 (Especificaciones estándar para agregados en concreto, en las tablas 3.1 y 3.2 del capítulo III se muestran los requisitos que debe cumplir el agregado grueso y el agregado fino).

Los agregados idealmente deben provenir de una solo cantera; en este caso del banco de materiales de HOLCIM La Cantera deben ser acopiados en lugar adecuado.

La cantera de HOLCIM cuenta con un laboratorio donde se hacen los respectivos ensayos para el control de calidad de los agregados, la litología de la zona está dominada por sedimentos aluviales, el banco de materiales en su mayoría consta de rocas volcánicas que fueron depositadas por el arrastre, se encuentran variedad de tamaños que luego pasan por un proceso de trituración.

### **AGREGADO GRUESO**

El agregado grueso que se utilizará en la investigación es Grava; en dos tamaños, el primero que consta de un tamaño máximo nominal de 1 ½” descrita según ASTM C 33 como grava No 4 y otra con tamaño máximo nominal de ¾” descrita según ASTM C 33 como grava No 67, ambos de naturaleza triturados.

### **AGREGADO FINO**

El agregado fino que se utilizará en la investigación es arena. La arena proviene del banco de materiales de La Cantera HOLCIM y deberá ser triturada verificando a través de los ensayos de los agregados si cumple con las especificaciones que indique la normativa ASTM C 33

#### **4.3.1.2 CEMENTO**

El tipo de cemento a utilizar debe ser aquel que este fabricado bajo ASTM C 1157 (Especificaciones de desempeño para los concretos Hidráulicos) tipo HE; el cual es un cemento por desempeño que se utiliza en la construcción de pavimento rígidos, este posee la misma composición química del cemento tipo I pero con la adición de puzolanas y filler en proporciones específicas a la molienda final, alcanza una resistencia a la compresión mayor a los 4200

psi(296 kg/ cm<sup>2</sup>) a los 28 días y por esta razón este tipo de cemento es muy recomendado para la fabricación de concretos estructurales para pavimentos.

#### **4.3.1.3 AGUA**

El agua debe cumplir con los requisitos que establece el ASTM C 94 / C 94 M (Especificaciones estándar con el cumplimiento de concreto premezclado) y debe ser aquella que sea apta para el consumo humano, libre de olor, color, sabor. En ocasiones el agua que se utiliza para el mezclado del concreto no es totalmente potable y en estos casos se debe recurrir a que esta cumpla las especificaciones según lo establece ASTM C 1602 (Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete)

#### **4.3.1.4 ADITIVO**

El uso de aditivo en las mezclas de concreto Hidráulico se utiliza siempre y cuando las especificaciones así lo establezcan. El aditivo a utilizar en la mezcla de concreto Hidráulico que se producirá en esta investigación es un tipo RA 1000. Es un aditivo plastificante, reductor de agua con trabajabilidad extendida para concreto.

Su uso mejora las mezclas de concreto, haciéndolas más plásticas y fluidas y manteniendo el tiempo de trabajabilidad. Cumple con ASTM C 494 (Standard specification for chemical admixtures for concrete) tipo “B” y “D”, un aditivo reductor de agua, además mejora las propiedades en el aumento de la resistencia.

#### **4.3.2 ETAPA II: PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA**

Para conocer las propiedades de los agregados a utilizar en el diseño de la mezcla de concreto hidráulico, se llevarán 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, pero debido al completo y total control de los materiales que se mantiene en las instalaciones de la planta de concreto, esto con el objeto de mantener y asegurar su calidad no se realizarán a los agregados.

Como parte del trabajo de laboratorio en esta investigación se realizarán las pruebas mostradas en la tabla 4.1

A continuación se muestran 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. Debido al estricto control de los agregados en la tabla 4.2 se mencionan algunos ensayos que no se realizarán.

PRUEBAS	NORMAS
<b>Análisis granulométrico</b>	ASTM C-136
<b>Gravedad específica y absorción</b>	ASTM C-127 (Agregado Grueso) ASTM C-128 (Agregado Fino)
<b>Contenido de humedad</b>	ASTM C-566
<b>Peso volumétrico</b>	ASTM C-29

Tabla 4.1: Ensayos a realizar a los agregados  
Fuente: Los autores

PRUEBAS	NORMAS
<b>Impurezas orgánicas</b>	ASTM C-40
<b>Ensayo de sanidad de los agregados por sulfato de sodio</b>	ASTM C-88
<b>Resistencia al desgaste de agregado grueso de tamaño pequeño por impacto y abrasión en la máquina de los Ángeles</b>	ASTM C-131
<b>Partículas planas y alargadas</b>	ASTM D-4791

Tabla 4.2 Ensayos de los agregados para la verificación de calidad (no se realizarán)  
Fuente: Los autores

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

El tamaño máximo nominal del agregado grueso a utilizar es de 37.5 mm (1 1/2”), estos valores se utilizan en el concreto dado que reúnen las características establecidas por cada una de las especificaciones (Fuller y Shilstone).

El método de análisis por tamizado de agregado grueso y fino bajo la norma ASTM C 136 se usará para determinar la graduación de materiales propuestos como agregados y determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de los tamices permitiendo conocer de esta manera si son aptos para su uso.

La Norma ASTM C 136 proporciona los parámetros a seguir para la selección de la cantidad de la muestra según su tamaño máximo 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 realizara por el método mecánico mostrado en la Figura 4.1 y la grava de forma manual.

Por otro lado también se deberá verificar si cumple con los requisitos de graduación y calidad bajo la especificación ASTM C 33, para el tamaño máximo

nominal que las metodologías granulométricas Fuller y Shilstone establecen, para nuestro caso se utilizarán los tamaños N° 67 y N° 4.

### **Material y equipo**

1. Balanza. Las balanzas utilizadas en ensayos de agregados gruesos y finos, deben tener una lectura y una exactitud como sigue:

1.1 Para agregado fino, legible a 0.1 g y exactitud de 0.1 g o 0.1 % de la masa de ensayo, cualquiera que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

1.2 Para agregado grueso, o mezcla de agregado grueso y fino, legible y exactitud de 0.5 g o 0.1 % de la masa de ensayo, cualquiera que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

2. Tamices. El tejido de los tamices deberá estar montado en marcos sólidos, contruidos de una manera que prevengan la pérdida de material durante el tamizado. El tejido y los marcos del tamiz estándar serán de acuerdo a los requisitos de ASTM E 11 (Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves). En tamices que no son estándar los marcos serán de acuerdo a los requisitos de E 11, cuando sea aplicable.

NOTA - Es recomendable que los tamices montados en marcos más grandes que los estándar de 203.2 mm (8 pulg.) de diámetro, sean usados en el ensayo de agregado grueso para reducir la posibilidad de sobrecargar las mallas.

3. Agitador Mecánico de Tamices. Si se usa un dispositivo de tamizado mecánico, deberá crear movimiento en los tamices que cause que las partículas salten, se volteen, o se giren para presentar diferentes orientaciones en la superficie del tamiz. La acción del tamizado será tal que el criterio para un tamizado adecuado, teniendo un periodo de tiempo satisfactorio.

NOTA - El uso de un agitador mecánico de tamices es recomendable cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o mayor, y puede usarse para muestras más pequeñas, incluyendo agregado fino. Un tiempo excesivo (más de aproximadamente 10 minutos) para lograr un tamizado adecuado puede resultar en degradación de la muestra. El mismo agitador mecánico de tamices puede no ser práctico para todos los tamaños de muestra, necesitando un área de tamizado mayor, para un tamizado práctico de un tamaño nominal grande al agregar agregado grueso lo que probablemente resultaría en pérdida de una porción de la muestra si es usada para una muestra más pequeña de agregado grueso o agregado fino.

4. Horno. Un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  ° C ( $230 \pm 9$  ° F).

**Muestra de prueba:**

1. Muestree el material según la práctica ASTM D 75 (Standard practice for sampling aggregates), el tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad mostrada en la práctica D 75 o 4 veces la cantidad requerida en la Tabla 4.3

2. Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada según lo que establece la práctica ASTM C 702 (Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size). La muestra para ensayo deberá ser aproximadamente la cantidad deseada cuando seque y debe ser el resultado final de la reducción. La reducción a una cantidad predeterminada exacta no será permitida.

**Agregado Fino:** Las muestras de prueba de agregado fino deberá tener después de secas, un peso igual o mayor a 300 gramos.

**Agregado Grueso:** El peso de la muestra de agregado grueso deberá cumplir con lo que se indica en la Tabla 4.3

### **Procedimiento.**

Agregado Fino.

1. Para realizar esta práctica es necesario que la muestra éste completamente seca. El secado puede ser: en un horno hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
2. Tomar una muestra, según lo que especifica el apartado Muestra de Prueba.

3. Ensámblense las mallas en orden decreciente de abertura de la malla y coloque la muestra en la malla superior, agite las mallas por medio del ROT - TAP durante un periodo de tiempo suficiente; se considerará que el tamizado está completo cuando, no más del 1% por masa del material retenido en alguna malla individual pase esa malla durante 1 minuto de tamizado manual ejecutado como sigue:

Tome la malla individual con una mano, provista con un fondo y tapa, en una posición ligeramente inclinada. Se golpea el lado de la malla con rapidez y con un movimiento ascendente contra la palma de la otra mano, a una razón de 150 veces por minuto, se gira la malla alrededor de un sexto de una revolución en intervalos de 25 golpes. En la determinación de la suficiencia del tamizado para tamaños mayores que la malla No 4, se limita el material en la malla a una simple capa de partículas.

4. Pese la cantidad retenida en cada malla.

5. Cuando el tamizado de la masa total de la muestra esté terminado este debe verificarse con la masa inicial de la muestra. Si la cantidad difiere por más del 0.3% de la masa original seca, el resultado debe rechazarse para propósitos de aceptación.

Agregado Grueso.

1. Para realizar este ensayo es necesario que la muestra éste completamente seca. El secado puede ser en un horno hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
2. Tomar una cantidad de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado, según el apartado donde se hace referencia a la muestra de prueba.
3. El tamizado se hace manual; malla por malla, en orden decreciente de abertura.
4. Pese la cantidad retenida en cada malla.

### **Cálculos**

1. Se sumará la cantidad de material retenida en cada malla, lo que nos permitirá detectar cualquier pérdida durante el proceso de tamizado, si se tiene una pérdida de más de 0.3% con respecto al inicial se considerará que el ensayo no es satisfactorio, sí es menor se considera válido y se procederá a compensar sumando o restando la diferencia entre el peso total de la muestra antes del tamizado y el peso total de la muestra después del tamizado, al mayor peso retenido, con el fin de obtener el peso inicial de la muestra.
2. Calcular los porcentajes de material retenido en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno entre el peso total seco, al más cercano 0.1 %

3. Con los porcentajes retenidos parciales, calcular los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes que pasa, reporte los porcentajes al número entero más cercano, excepto si el porcentaje pasando la malla No 200 es menor al 10%, será reportado con una aproximación de 0.1% ( cuando sea solicitado)
4. Trazar la curva granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisas en escala logarítmica la abertura de las mallas y por ordenadas los % de material que pasan por dichas mallas, a escala natural.
5. El paso anterior se hará tanto para las arenas como para las gravas.
6. Con referencia en el paso 4, graficar los rangos que establece la norma en su correspondiente figura, tanto para arenas como para las gravas; verificando de esta forma si cae la granulometría dentro del rango que le corresponde. Ver tablas 3.1 y 3.2
7. Calcular el módulo de finura para las arenas, cuando se requiera, con aproximación de 0.01

$$MF = \frac{\% \text{ acumulado retenido desde la malla } N^{\circ} 4 \text{ a } N^{\circ} 100}{100}$$

Ecuación 4.1

## Tamaño de la muestra para realizar el ensayo

<b>AGREGADO FINO</b>	
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	<b>Masa mínima, g</b>
<b>No.4 (4.75 mm)</b>	300
<b>AGREGADO GRUESO</b>	
<b>Tamaño Máximo Nominal mm (in)</b>	<b>Peso de la muestra de ensayo, mínimo. Kg (lb)</b>
<b>9.5 (3/8)</b>	1 (2.2)
<b>12.5 (1/2)</b>	2 (4.4)
<b>19.0 (3/4)</b>	5 ( 11 )
<b>25.0 (1)</b>	10 ( 22 )
<b>37.5 (1 ½)</b>	15 ( 33 )
<b>50.0 (2)</b>	20 ( 44 )
<b>63.0 (2 ½)</b>	35 ( 77 )
<b>75.0 (3)</b>	60 ( 130 )
<b>90.0 (3 ½)</b>	100 ( 220 )
<b>100.0 (4)</b>	150 ( 330 )
<b>150.0 (6)</b>	300 ( 660 )

Tabla 4.3: Peso de la muestra de ensayo en función del tamaño máximo del agregado.  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES



Figura 4.1: Tamizador mecánico utilizado para arenas  
Fuente : Propia

### **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 4.2).

**Material y equipo:**

Grava

Arena

Balanza con una precisión 0.1g.

Placa de vidrio

Balanza con una precisión de 1g.

Picnómetros

Molde tronco cónico y pisón

Franelas o toallas de papel

Termómetro

Charolas

Mallas 1",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y No 4

Canastilla

Cuchara de albañil

Horno de temperatura constante.

## Procedimiento

### Absorción de la Arena y Grava

#### Absorción de la arena:

1. Muestree el material según la práctica D 75
2. Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada según lo que establece la práctica C 702, el peso mínimo de ensayo será aproximadamente 1 kg.
3. Seque el material de ensayo a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. o hasta obtener peso constante.
4. Permita enfriar a una temperatura de manejo confortable, posteriormente cubra con agua el material y permita reposar por  $24 \pm 4$  horas.
5. Pasado este tiempo decante el exceso de agua con cuidado para evitar pérdidas de finos, esparza la muestra en una superficie plana no absorbente expuesta a una ligera corriente de aire y remueva frecuentemente para asegura el secado homogéneo. Continúe esta operación hasta que la muestra se aproxime a una condición de un flujo libre
6. Utilizando el molde tronco cónico, compactar suavemente con el pisón, aplicándole 25 golpes ligeros. Inicie cada caída 5 mm arriba de la superficie del agregado fino, permita caer el pisón libremente y distribuya los golpes

uniformemente en toda la superficie del agregado; remueva la arena suelta de la base y levante el molde verticalmente. Si la humedad superficial está presente, el agregado fino tendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado fino moldeado indica que éste ha alcanzado una condición de superficie seca.

7. Inmediatamente se procederá a pesar de 200 a 500 g de la arena en esta condición y se anota este peso como  $W_{sss}$ .

8. Colocar la muestra en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 24 horas después de lo cual se procede a sacar del horno la muestra y pesarla, anotando este peso como  $W_s$ .

**Absorción de la grava:**

1. Muestree el material según la práctica D 75

2. Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada según lo que establece la práctica C702. Rechace todo el material que pase la malla no 4, por tamizado en seco y lavando completamente para remover el polvo y otros recubrimientos de la superficie

3. La muestra de prueba se tomara en base al tamaño máximo nominal y apoyándonos de la tabla 4.4

4. Seque el material hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$ , posteriormente deje enfriar a temperatura ambiente durante un periodo de

1 a 3 horas. Posteriormente colocarla sumergida en un recipiente por  $24 \pm 4$  horas.

5. Tomar la muestra que se ha dejado sumergida y secarla con una franela hasta que toda la película de agua visible sea removida (se deberá evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de de secado superficial).

6. Pesar la muestra, llamando a este peso  $W_{sss}$

7. Colocar la muestra en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}$  C durante 24 horas después de lo cual se procede a sacar del horno la muestra y pesarla, anotando este peso como  $W_s$

### **Cálculos:**

Calcular el porcentaje de absorción de la arena y grava por medio de la siguiente ecuación:

$$\%Absorción = \left( \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

$W_{sss}$ = peso del agregado en condición saturada superficialmente seca

$W_s$ = peso del agregado en condición seca

## Gravedad Específica de la Arena y Grava

### Gravedad Específica de la grava:

Preparación del material

1. Muestree el material según la práctica D 75
2. Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada según lo que establece la práctica C 702. Rechace todo el material que pase la malla N° 4, por tamizado en seco y lavando completamente para remover el polvo y otros recubrimientos de la superficie
3. La muestra de prueba se tomara en base al tamaño máximo nominal y apoyándonos de la Tabla 4.4
4. Seque el material hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , posteriormente deje enfriar a temperatura ambiente durante un periodo de 1 a 3 horas. Posteriormente colocarla sumergida en un recipiente por  $24 \pm 4$  horas.
5. Tomar la muestra que se ha dejado sumergida y secarla con una franela hasta que toda la película de agua visible sea removida (se deberá evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de de secado superficial).
6. Pesar la muestra, llamando a este peso  $W_{ss}$

Método de la canastilla:

1. Colocar el material en la canastilla y sumergirlo en un recipiente con capacidad mínima de 16 litros
2. Obtener el peso sumergido del material utilizando una balanza,  $W_{sum}$ .
3. Sacar el material de la canastilla y dejarlo secar en el horno durante  $24 \pm 4$  horas a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .
4. Pesarse la muestra después de 24 horas y anotar este como peso seco  $W_s$ .
5. Efectuar los cálculos siguientes:

Gravedad Específica en masa (basado en el agregado seco).

$$G_s = \left( \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Gravedad Específica en masa (basada en el agregado saturado superficialmente seco)

$$G_s = \left( \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Gravedad Específica Aparente

$$G_s = \left( \frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad \text{Ecuación 4.5}$$

### **Gravedad Específica de la arena:**

Gravedad específica de la arena por el método del Picnómetro.

1. Lavar el Picnómetro y ponerlo a secar.

2. Ya lavado y seco introducirle agua al frasco de vidrio, colocarle el empaque y el cono, terminarlo de llenar para verificar si no existen fugas.
3. Ya lleno el Picnómetro, secarlo por la parte exterior, y pesar el conjunto.  $W_{f+a}$ .
4. Pesar  $500 \pm 10$  g de arena en la condición de saturada superficialmente seca.
5. Introducir la arena al Picnómetro vacío y llenar con agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% del volumen total, colocarle el empaque y el cono y llenarlo de agua
6. Reviértase y agítase el Picnómetro para eliminar las burbujas de aire<sup>3</sup>, posteriormente llevar el nivel de agua en el Picnómetro hasta su capacidad de calibración.
7. Secarlo por la parte exterior, y pesar el conjunto.  $W_{f+a+a}$
8. Retirar la arena del frasco y colocarla al horno por 24 horas a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, pasado este tiempo sacar la muestra del horno, dejarla enfriar a temperatura ambiente por un periodo de ½ hora y obtener el peso de la muestra  $W_a$ .

$$9. \quad G_s = \left( \frac{W_{sss}}{W_{fa} + W_{sss} - W_{faa}} \right) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

---

<sup>3</sup> Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos, para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales

Dónde:

$W_{sss}$  = Peso de la arena en condición de saturada superficialmente seca.

$W_{fa}$  = Peso del Picnómetro más agua a la temperatura.

$W_{faa}$  = peso del Picnómetro más agua más arena.

Tamaño máximo nominal (abertura cuadrada) mm (pulg.)	Peso mínimo de la muestra Kg (lb)
<b>150 (6)</b>	125 (276)
<b>125 (5)</b>	75 (165)
<b>112 (4 1/2)</b>	50 (110)
<b>100 (4)</b>	40 (88)
<b>90 (3 1/2)</b>	25 (55)
<b>75 (3)</b>	18 (40)
<b>63 (2 1/2)</b>	12 (26)
<b>50 (2)</b>	8 (12)
<b>37.5 (1 1/2)</b>	5 (11)
<b>25 (1)</b>	4 (8.8)
<b>19 (3/4)</b>	3 (6.6)
<b>12.5 (1/2) o menor</b>	2 (4.4)

Tabla 4.4: Peso mínimo de la muestra de ensayo para la determinación de la Gravedad Específica del agregado grueso.

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

**Equipo utilizado para arena**

Método del Picnómetro

**Equipo utilizado para grava**

Método de la Canastilla



Figura 4.2: Equipo para gravedad específica de los agregados

Fuente: [www.spingenieria.net](http://www.spingenieria.net) 24/05/2013**CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO NORMA ASTM C 566.**

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado (Figura 4.3). Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales en el agregado. Dicha agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Este método de ensayo es suficientemente exacto para propósitos usuales, tales como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto. Este generalmente mide la humedad en la muestra de ensayo, determinando la que existe en el agregado suministrado. En casos donde el agregado es alterado por calor o donde se requieran medidas más refinadas, el ensayo puede ser dirigido usando un horno de temperatura controlada.

Partículas grandes de agregado grueso, especialmente aquellos más grandes que 50 mm requerirán mayor tiempo para que la humedad viaje del interior de la partícula a la superficie. El uso de este método de ensayo será determinado por tentativas. El método de secado rápido proporciona suficiente exactitud para el uso pretendido.

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 así como también en el caso de la arena.

### **Equipo**

1. Balanza. Una balanza o bascula exacta, legible y sensitiva con 0.1 % de la carga de ensayo en cualquier punto con el rango de uso. Dentro de un intervalo igual al 10 % de la capacidad del dispositivo pesado, la indicación de carga deberá tener una exactitud con 0.1 % de la diferencia en peso.

2. Fuente de Calor. Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura de la muestra a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Donde el control cerrado de la temperatura no sea requerido (ver 3.1), pueden ser usadas otras fuentes compatibles de calor tales como cocina ("hot plate") eléctrica o de gas, lámparas eléctricas u hornos de micro ondas.

3. Recipiente para la muestra. Un recipiente que no sea afectado por el calor, y de suficiente volumen para contener la muestra sin peligro de derrame y de tal forma que la altura de la muestra no exceda la quinta parte de la menor dimensión lateral.

3.1 Precaución. Cuando se use un horno de microondas, el recipiente no será metálico.

4. Agitador. Una cuchara metálica o espátula de tamaño conveniente.

Nota - Excepto para el ensayo de muestras grandes, un recipiente ordinario es compatible para

usar con un “hot plate”, o algún recipiente metálico poco profundo es compatible con lámparas de calor u horno. Observe la precaución en 3.1.

## Muestreo

1. El muestreo será realizado acorde con la Práctica D 75, excepto el tamaño de la muestra.
2. Asegúrese que el contenido de humedad de la muestra de agregado a ensayar sea representativa de la que tiene el material en el sitio, teniendo una masa no menos que la cantidad listada en la Tabla 4.5. Proteja la muestra contra la pérdida de humedad antes de determinar la masa.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Pulg. (mm)	Masa de Peso Normal Muestra de Agregado min. (Kg)
<b>No.4 (4.75 mm)</b>	0.5
<b>3/8" (9.5 mm)</b>	1.5
<b>1/2" (12.5 mm)</b>	2.0
<b>3/4" (19.0 mm)</b>	3.0
<b>1" (25.0 mm)</b>	4.0
<b>1 1/2" (37.5 mm)</b>	6.0
<b>2" (50.0 mm)</b>	8.0
<b>2 1/2" (63.0 mm)</b>	10.0
<b>3" (75.0 mm)</b>	13.0
<b>3 1/2" (90 mm)</b>	16.0
<b>4" (100 mm)</b>	25.0
<b>6" (150 mm)</b>	50.0

Tabla 4.5 Tamaño de Muestra para Agregado  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

**Procedimiento**

1. Pese la muestra con una aproximación de 0.1 %.
2. Seque la muestra completamente en el recipiente, por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo el cuidado de evitar la pérdida de alguna partícula. El calentamiento muy rápido puede causar que algunas partículas exploten, causando la pérdida de material. Use un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado, o cuando se requiere mayor precisión en la medida. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada, agite la muestra durante el secado para acelerar la operación y evite sobre calentamiento localizado. Cuando se use un horno de micro ondas, la agitación de la muestra es opcional.
  - 2.1 Precaución: Cuando use un horno de micro ondas, ocasionalmente minerales están presentes en los agregados los cuales pueden causar que el material se sobre caliente y explote. Si esto ocurre se puede dañar el horno de micro ondas.
3. Cuando se use un “hot plate” el secado puede ser expeditado por el siguiente procedimiento. Adicione suficiente alcohol desnaturalizado para cubrir la muestra húmeda. Revuelva y permita que el material suspendido se asiente. Decantar el alcohol, tanto como sea posible sin pérdida alguna de la muestra. Encienda el alcohol remanente y permita la combustión durante el secado sobre el “hot plate”.

3.1 Precaución: Tener cuidado para controlar la operación de encendido para prevenir accidentes o daños del alcohol ardiente.

4. La muestra está completamente seca cuando más calor causa, o causará, menos del 0.1 % de pérdida de peso adicional.

5. Determine la masa de la muestra seca con una precisión de 0.1 % después de que haya enfriado suficiente para no dañar la balanza.

6. Calcule el contenido de humedad total como sigue:

$$\%W = \left( \frac{W}{W-D} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Dónde:

W= masa de la muestra original (g)

D= masa de la muestra seca (g)

### **PESO VOLUMÉTRICO BAJO NORMA ASTM C 29.**

El Peso Unitario o Peso Volumétrico de un agregado es el peso del material necesario para llenar un recipiente de un pie cúbico. Se usa el término "peso volumétrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y los huecos entre sus partículas (figura 4.4). 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).

El peso unitario es una propiedad necesaria para determinar el proporcionamiento de mezclas de concreto, así como también puede ser usado para determinar la relación masa/volumen, la cual es muy útil en la conversión de cantidades durante las compras de materiales acordadas. Aunque los agregados se transporten o almacenen con humedad absorbida o sobre su superficie, en este ensayo se determinará el peso unitario sobre la base del peso seco del material. 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 (Guide for selecting proportions for No-Slump concrete) no es necesario conocer el Peso Volumétrico Suelto de la arena.

El valor de “Peso Volumétrico” en ambos casos, se deberá obtener con agregados secados a la intemperie; el recipiente en que se realizará la prueba está en función del tamaño máximo nominal del agregado para que la prueba sea representativa, el molde podrá ser cúbico o cilíndrico con altura igual al diámetro.

### **Material y equipo**

Gravas secadas al aire.

Cucharón y pala

Balanza de 1 g de precisión

Regla Metálica.

Recipiente de volumen y peso conocido.

Varilla apisonadora de 16 mm (5/8") con una punta de casquete esférico y 60 cm de longitud.

## **Procedimiento**

### **Determinación del Peso Volumétrico Suelto**

1. Muestree el material según la práctica D 75
2. Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada según lo que establece la práctica C702.
3. El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente 125 a 200% la cantidad requerida para llenar el depósito medidor, y deberá ser manejado de tal manera que se evite la segregación
4. Si la muestra posee polvo o material adherido se deberá lavar y posteriormente secarse a masa constante, en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
5. Se encuentra un recipiente que esté de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado.

6. Pesar el recipiente y anotar como  $W_r$ .
7. Encontrar el volumen del recipiente y anotar como  $V_r$ .
8. Se toma una muestra del material seco de tal forma que sea mayor que el volumen del recipiente (aproximadamente).
9. Se vierte el material dejándolo caer de más o menos 5 cm. por encima del borde superior del recipiente y luego se enrasa.
10. Se pesa el recipiente con el material y se anota este peso como  $W_{rm}$ .
11. Se repiten este procedimiento por lo menos, 3 veces

### **Cálculo**

$$P. V. S. = \left( \frac{W_{rm} - W_r}{V_r} \right) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Dónde:

$W_{rm}$  = peso del recipiente con el material

$W_r$  = peso del recipiente

$V_r$  = volumen del recipiente

### Determinación del Peso Volumétrico Varillado

1. Se siguen los pasos del 1 al 6 del procedimiento anterior.
2. Se vierte el material en tres capas aproximadamente igual volumen compactando cada capa con 25 golpes distribuidos uniformemente con una barra de (5/8") con punta de casquete esférico y 60 cm de longitud.
3. Enrase y pese el recipiente más el material y anote este como  $W_{rm}$ .
4. Se calcula el peso volumétrico igual caso anterior y se repite el proceso, 3 veces como mínimo

#### Cálculo

$$P.V.V. = \left( \frac{W_{rm} - W_r}{V_r} \right) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

#### Procedimiento del Cálculo del Volumen del Recipiente.

1. Llenar el recipiente con agua a la temperatura ambiente, cúbralo con una placa de vidrio, con el objeto de eliminar burbujas y visualizar bolsas de agua debidas al probable desnivel o desajuste del recipiente.
2. Auxiliarse si es necesario, de cuñas (papel o agregados) para nivelar el borde superior del recipiente.
3. Determinar el peso del recipiente más el agua.  $W_{ra}$ .

4. Medir la temperatura del agua y determinar su peso unitario, interpolando si es necesario.
5. Calcule el volumen dividiendo el agua requerida para llenar el recipiente entre el peso unitario del agua.

### **Cálculo**

$$V = \left( \frac{Wra - Wr}{\gamma_{agua}} \right) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Dónde:

Wra= peso del recipiente con más el agua

Wr= peso del recipiente

$\gamma_{agua}$  = peso específico del agua

### **Comentarios.**

Del proceso de ensayo

Las variaciones entre un peso volumétrico y otro de un mismo material, realizado por un solo operador no deberán variar en más de  $14 \text{ kg/m}^3$ .

Durante el varillado de tamaños grandes del agregado grueso, puede dificultar la penetración de cada capa introducida, para esto será necesario aplicar un

vigoroso esfuerzo con el fin de lograr varillar cada capa sin que este varillado penetre significativamente en la anterior capa varillada.

Es necesario realizar por lo menos 3 determinaciones del peso unitario, el resultado incluido en el informe será el promedio de estas tres determinaciones.

El proceso de varillado tiene que ser ejecutado por una sola persona, ya que esto podría conllevar a resultados dispersos entre uno y otro ensayo.

Cuando se realiza el Peso Unitario Suelto o Varillado, el material debe vaciarse en el recipiente desde una altura no mayor de 2 pul (50 mm), respecto al borde superior del molde volumétrico.



Figura 4.3: Determinación del peso volumétrico

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES. Autor Lesly Mendoza.

### 4.3.3 ETAPA III: DISEÑO DE LA MEZCLA

El diseño de mezclas de concreto puede lograrse a través de diferentes metodologías muchas de las cuales están basadas en los pasos que establece el comité ACI 211, por lo general en el arte de diseñar mezclas de concreto suele partirse de un dato inicial y este es la resistencia a compresión ( $f'_c$ ). Cuando se trata de mezclas que van a ser utilizadas en pavimentos rígidos se utilizan correlaciones, las cuales son establecidas por la teoría a partir de algunos análisis estadísticos entre la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) y el módulo de ruptura ( $M_R$ ); a éstos se les llama: **Métodos Indirectos**.

Existe otra manera de diseñar mezclas de concreto que se utilizaran en pavimentos rígidos a partir de su resistencia a la flexión ( $M_R$ ), esto se logra desarrollando estudios sobre el comportamiento mecánico (resistencia) que desarrollan ciertas relaciones agua /cemento. Esto se alcanza a través de curvas de desempeño y son los llamados **Métodos Directos** que a continuación se describen.

## DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

### Diseño de Curvas de Desempeño.

Utilizando la metodología de proporcionamiento de mezclas descrita por el ACI 211.1, procederemos a la investigación del desempeño en flexión de una combinación de materiales disponibles para un proyecto determinado.

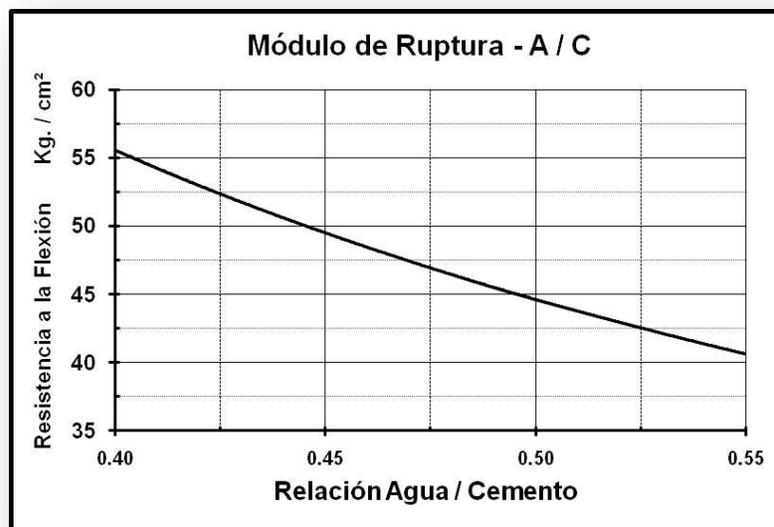


Gráfico 4.1: Ejemplo de curva de desempeño para diferentes  $M_R$  vs A/C  
Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

Se deben seguir los lineamientos establecidos por el comité ACI 211 para la elaboración de curvas de desempeño, estos pasos son los siguientes:

## **Pasos del método ACI 211**

Paso 1. Selección del revenimiento.

Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado.

Se estudiara una combinación de agregados gruesos

Paso 3. Estimación de agua de mezcla y el contenido de aire.

Paso 4. Selección de la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes.

Se determinara el desempeño a flexión para  $A/C = 0.40$ ;  $A/C = 0.45$ ;  $A/C = 0.50$

Paso 5. Cálculo del contenido de cemento.

Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso.

Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino.

Paso 8. Ajustes de peso por humedad de los materiales.

Paso 9. Ajustes en la mezclas de prueba.

## Diseño de Mezclas de Prueba

Paso 1. Elección del revenimiento. De acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado.

Paso 3. Selección de la relación agua/cemento de prueba.

Paso 4. Estimación inicial del contenido de agregado grueso.

La cantidad de agregado grueso podrá determinarse mediante la utilización de las tablas (ver Tablas 4.6, 4.7 y Gráfico 4.2) conociendo previamente el módulo de finura del agregado fino y el peso volumétrico en sus diferentes condiciones tal como lo establece el procedimiento del comité ACI 211.

Tamaño Máximo Nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
<b>19 (3/4")</b>	0.73	0.70	0.68	0.66
<b>25 (1")</b>	0.78	0.76	0.74	0.72
<b>37.5 (1 1/2")</b>	0.83	0.80	0.78	0.76

Tabla 4.6: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para "Concretos para Pavimento"

Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

Tamaño Máximo Nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
<b>19 (3/4")</b>	0.66	0.64	0.62	0.60
<b>25 (1")</b>	0.71	0.69	0.67	0.65
<b>37.5 (1 1/2")</b>	0.75	0.73	0.71	0.69

Tabla 4.7: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para "Concretos Convencionales"

Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

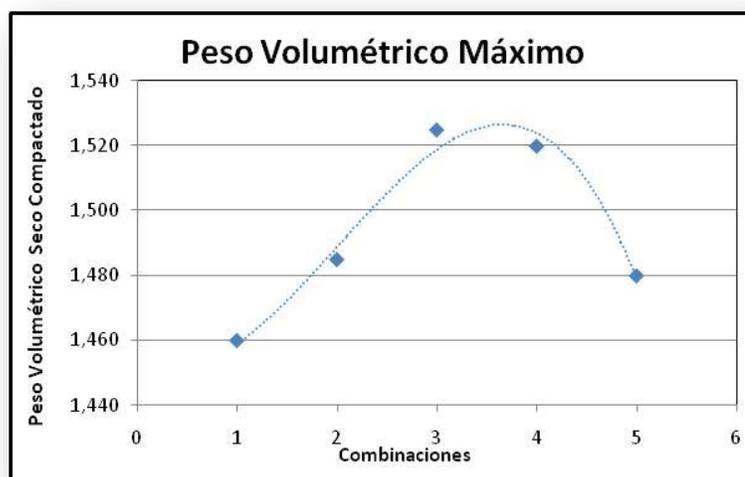


Gráfico 4.2: Peso volumétrico seco compactado

Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

Paso 5. Estimación del contenido de agregado fino.

Paso 6. Ajustes en la mezclas de prueba. (Agua, Revenimiento, Manejabilidad, Cemento)

Después de haber realizado todo los ajustes pertinentes la cantidad de cada componente entonces se resume de la siguiente manera para cada una de las relaciones a/c estudiadas

<b>Materiales</b>	<b>A/C= 0.50</b>	<b>A/C= 0.45</b>	<b>A/C= 0.40</b>
<b>Cemento</b>	384	433	495
<b>Agua</b>	192	195	198
<b>Agregado Fino</b>	585	564	503
<b>Agregado Grueso</b>	1140	1140	1140
<b>Total</b>	2326	2332	2335

Tabla 4.8: Cantidades de los componentes de la mezcla para diferentes relaciones A/C  
Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

## **Resultados.**

Los resultados reflejaran la tendencia de la curva de desempeño que posteriormente podrá ser utilizada para otros proyectos, es importante tener claro que para la utilización de estas curvas en futuros diseños solo podrán ser utilizada siempre y cuando los materiales sean de la misma procedencia con los que fueron desarrolladas dichas curvas.

Prueba	A/C= 0.50			A/C= 0.45			A/C= 0.40		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
1	33	40	41	39	46	47	38	47	48
2	33	39	40	40	47	48	41	48	49
3	37	42	43	40	46	47	45	51	52
4	34	39	42	39	44	47	43	49	53
5	32	38	40	42	44	47	43	50	51
Promedio	34	40	41	40	46	48	42	49	51
Menor	32	38	40	39	44	47	39	47	48

Tabla 4.9: Resultados que reflejan la tendencia de una curva de desempeño  
Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

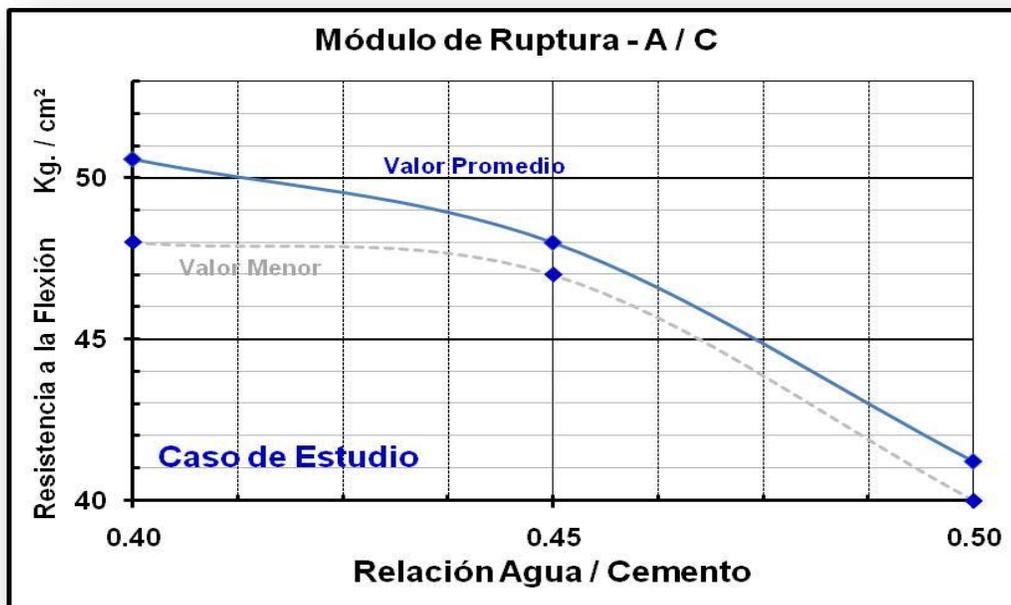


Gráfico 4.3: Curva de Desempeño o Curva de Tendencia a los 28 días Fuente: Diplomado de Pavimentos FIA UES

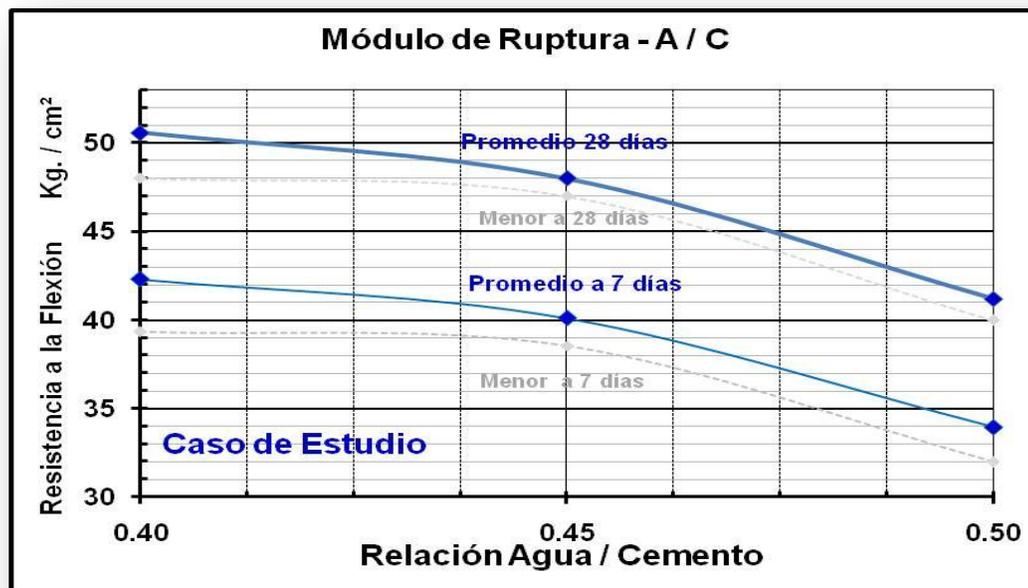


Gráfico 4.4: Curva de Desempeño o Curva de Tendencia promedio de resistencia a 7 y 28 días  
Fuente: Diplomada de Pavimentos FIA UES

#### 4.3.4 ETAPA IV: HECHURA DE LA MEZCLA Y ELABORACIÓN DE ESPECIMENES DE CONCRETO

##### Hechura de la mezcla de concreto

Para la hechura del concreto en laboratorio, se realizará por medio de lo indicado por la norma ASTM C 192 (Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory); con esto para garantizar una buena mezcla de concreto. Además, en esta práctica se muestra el procedimiento para la preparación de materiales y mezclado del concreto

### **Elaboración de especímenes de concreto**

Cuando se realiza un diseño de mezcla es necesario revisar si la mezcla cumple con los parámetros de diseño, entre los que podemos mencionar: la resistencia, el revenimiento, durabilidad, etc.

Para controlar la resistencia del concreto, se elaboran especímenes de concreto, ya sean cilindros para la prueba de compresión y viguetas para la prueba de flexión. En el ensayo de compresión los especímenes son cilíndricos (15x30 cm) de conformidad con la norma ASTM C 39 (Standar test method for comprensive strength of cylindrical concrete specimens) y en cuanto al ensayo de Flexión son en forma de viguetas (15x15x60 cm), de acuerdo a la norma ASTM C 78 (Standar test method for flexural strenght for concrete).

Al elaborar los especímenes es necesario compactarlos, para eliminar el aire atrapado en ellos. El medio más antiguo de lograrlo es apisonando o picando la superficie del concreto para desalojar el aire y forzar a las partículas a colocarse más cerca unas de otras. El sistema más moderno es el vibrado, por medio del cual se separan momentáneamente las partículas y se reúnen después para formar una masa compacta.

Para la hechura de los especímenes y conocer las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, nos basaremos en la norma ASTM C 192; el cual es un método estándar para la elaboración de cilindros y viguetas testigos en laboratorio, esto para garantizar una buena mezcla de concreto.

## Hechura de especímenes de concreto en el laboratorio (ASTM C 192).

### Material y Equipo

Concreto fresco.

Varilla metálica para compactar

Vibrador.

Cilindros de 6"x12"

Viguetas de 15x15x60 cm

Herramientas y utensilios: palas, cubetas, cucharón de albañil, cinta métricas, martillo de goma, extensiones eléctricas, guantes de hule (Figura 4.4).



Figura 4.4: Equipo para la hechura de especímenes de concreto  
Fuente: Propia

**Procedimiento:**

## Lugar de moldeo

Moldear los especímenes tan cerca como sea practicable al sitio donde ellos están siendo almacenados durante las primeras 24 horas. Colocar los moldes en una superficie rígida libre de vibración y otras perturbaciones, evitar el sacudido, golpe inclinación o rallar la superficie de los especímenes en el traslado al lugar de almacenamiento (Figura 4.5).

Elaboración de especímenes para prueba de compresión de concreto:

1. Se limpiaran y engrasaran los moldes donde se harán los especímenes, teniendo cuidado de no dejar exceso de grasa.
2. Se llenaran en tres capas los moldes<sup>4</sup> de tal manera de que se tenga un tercio del volumen por capa, cuando se coloque la capa de concreto se moverá con el cucharón, pala o cuchara de albañil alrededor del borde superior del molde, con el objeto de garantizar una distribución uniforme y hacer mínima la segregación del agregado grueso dentro de éste. Además, debe distribuirse el concreto usando la varilla compactadora antes de iniciar la compactación. Al colocar la capa final, se deberá intentar agregar una cantidad de concreto que llene exactamente el molde después de compactarlo.

---

<sup>4</sup> Ver tabla 5.4 cuando las dimensiones del molde no sean de 6"x12"



Figura 4.5: Moldes cilíndricos y espécimen cilíndrico de concreto  
Fuente propia: Los Autores.

3. Número de capas: dependen de las dimensiones del molde. Para el caso de cilindros de 30 cm de altura se usan tres capas, para otros tipos de molde se usará de acuerdo a la tabla 4.10:

Tipo y Tamaño de Especimen, cilindros, diámetro en pulgadas (mm)	Modo de compactación	Número de capas de igual profundidad
3 ó 4 (75 a 100)	Varillado	2
6 (150)	Varillado	3
9 (225)	Varillado	4
Más de 9 (225)	Vibración	2

Tabla 4.10: Número de Capas Requerido para Moldear Distintos Tipos de Especímenes.

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

4. Compactación: La energía de moldeo durante la elaboración del cilindro debe ser suficiente para alcanzar su completa compactación, A.S.T.M. establece: varillar o vibrar el concreto con revenimientos iguales o mayores que una pulgada. Vibrar el concreto con revenimientos menores que 1 pulgada. No usar vibración interna para cilindros con diámetros menores que 1 pulgada y para vigas o prismas con abertura o profundidad menor que 4 pulgadas.

Consistencia de la mezcla ( Revenimiento en cm)	Energía de moldeo Cilindros estándar de 6"x12"
Más de 7.5 cm.	Varillado en 75 inserciones distribuidas en tres capas o vibrado en dos capas
Entre 25 y 7.5 cm.	Varillado en tres capas o vibrado en dos capas
Menos de 2.5 cm.	Vibrado en dos capas

Tabla 4.11. Energía de Moldeo para Cilindros Estándar de 6"x12"  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

5. Compactación con varilla. Después de colocar el concreto en el molde se procederá a compactarlo con el número de golpes y tamaño de barra especificados según lo establecido en las Tablas 4.12.

Diámetro del cilindro en cm.	Diámetro de la varilla en mm (plg)	Numero de golpes por capa
2 a menor de 15	9.5 (3/8)	25
15	15.9 (5/8)	25
20	15.9 (5/8)	50
25	15.9 (5/8)	75

Tabla 4.12 Diámetro de varilla y número de pisonadas que deben aplicarse al moldear especímenes.

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

Varillar la capa del fondo en toda su profundidad. Distribuir los golpes uniformemente a través de toda la sección transversal del molde y para cada capa superior permitir que la barra penetre toda la capa que está siendo compactada y la capa inferior aproximadamente 1 pulgada. Después que cada capa ha sido varillada, golpear ligeramente los lados exteriores del molde 10 a 15 veces con el mazo para cerrar cualquier orificio dejado por la barra y liberar cualquier burbuja grande de aire que pudiera haber sido atrapada. Cuando se coloca la capa final, evitar el sobre llenado por más de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Cuando el acabado es aplicado después de la vibración, añadir solamente la cantidad suficiente de concreto con una cuchara para sobre llenar el molde alrededor de  $\frac{1}{8}$  de pulgada. Trabajar dentro de la superficie y entonces enzararlo.

6. Vibración: en caso de vibrar el concreto en lugar de varillarlo, la duración de ésta dependerá del tipo particular de concreto, vibrador y molde de espécimen involucrado; la duración requerida de vibración depende de la trabajabilidad del concreto y de la eficiencia del vibrador.

Usualmente se considera que se ha aplicado suficiente vibración tan pronto como la superficie del concreto se vuelve relativamente plana. La vibración debe continuarse sólo lo suficiente para lograr una compactación adecuada del concreto, ya que si es excesiva puede causar segregación.

El concreto se colocará en los moldes según el número de capas que se especifica en la Tabla 4.13

El concreto de cada capa debe colocarse en el molde antes de empezar la vibración de esa capa.

Agregar la última capa, de modo que no se sobrellene en más de 5 mm.

Tipo y tamaño de espécimen, diámetro en pulgadas (mm)	No de inserciones por capa
4 (100)	1
6 (150)	2
9 (225)	4

Tabla 4.13 Número de inserciones del vibrador por capa  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

Para los cilindros, la relación del diámetro del mismo al del elemento vibratorio será de 4 ó más.

Al compactar el espécimen el vibrador no debe tocar o descansar en el fondo o lados del molde.

El vibrador se retira cuidadosamente, lo más vertical posible, de modo que no queden bolsas de aire en el espécimen.

Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde al menos 10 veces con el mazo para cerrar los orificios remanentes y liberar los vacíos de aire atrapados.

Para el caso de cilindros debe efectuarse dos inmersiones del vibrador en diferentes puntos por cada capa, penetrando la capa que se está vibrando y la subyacente poco más o menos 2.5 cm.

7. Luego de terminado el proceso de compactación o vibración se procederá a enrasar los moldes con una cuchara de albañil o con la misma varilla, agregando una porción de concreto si esto fuera necesario.

8. Una vez endurecida la parte superior del cilindro se procederá a identificarlos con la fecha de elaboración, número correlativo del cilindro e iniciales o nombre del proyecto a quien correspondan, esto se realizara con un crayón, nunca con clavos, o cualquier otro instrumento que dañe la superficie del cilindro.

Curado en el laboratorio

Protección después del acabado:

Para evitar la evaporación de agua del concreto que aún no endurece, deben cubrirse los especímenes inmediatamente después del acabado, de preferencia con una placa metálica no absorbente ni reactiva o un plástico resistente e impermeable. Los especímenes serán almacenados inmediatamente después del acabado hasta la remoción de los moldes para prevenir perdida de humedad de los especímenes.

Remoción de los moldes:

Los especímenes no deben quitarse de los moldes antes de  $20 \pm 8$  h de elaborados

Medio ambiente de curado:

A menos que se especifique de otra forma, todos los especímenes deben tener curado húmedo a  $23 \pm 2^{\circ}$  C desde el moldeado hasta el momento del ensayo. El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado, debe hacerse en un ambiente exento de vibración. En los especímenes retirados de los moldes, el curado húmedo significa que los especímenes deben tener constante agua libre sobre toda su área superficial. Esta condición se cumple mediante inmersión en agua de cal saturada, o también por almacenamiento en una cámara húmeda que cumpla ciertos requisitos. Los especímenes no deben exponerse al goteo o al escurrimiento.

### Elaboración de especímenes para ensayo de Flexión

Elaboración de viguetas:

1. Se limpiarán y engrasarán los moldes, teniendo cuidado de no dejar exceso de grasa.
2. El molde se llena en dos capas iguales si será varillado y una sola capa si va a ser vibrado.

3. Si se hará varillado según la Tabla 4.14

Área superior del espécimen Pulg <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	Diámetro de la varilla en mm (plg)	Numero de golpes por capa
25 (160) o menos	9.5 (3/8)	25
26 a 49 (165 a 310)	9.5 (3/8)	1 por cada 1 pulgado <sup>2</sup> (7 cm <sup>2</sup> )
50 (320) o más	15.9 (5/8)	1 por cada 2 pulgado <sup>2</sup> (14 cm <sup>2</sup> )

Tabla 4.14 Diámetro de Varilla y Número de Inserciones que deben Aplicarse al Moldear Especímenes.

Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES



Figura 4.6: Elaboración de especímenes a la Flexión  
Fuente : Propia

4. Si es vibrada: se colocara el concreto en una sola capa, insertando el vibrador a intervalos de que no excedan las 6 pulgadas (150 mm) usar inserciones alternativas a lo largo de dos líneas. Luego de vibrado golpear el molde fuertemente al menos 10 veces con un mazo para cerrar los orificios dejados por el vibrador y liberar los vacíos de aire atrapados.
5. Después de compactar el concreto del espécimen se enrasará con la varilla o cuchara de albañil, tratando de que el acabado se realice con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie a nivel que esté a ras con el borde del molde sin salientes, ni depresiones mayores de 3 mm.
6. Después del curado inicial en los moldes, remover las vigas entre  $24 \pm 4$  horas después del moldeado y curarlas a  $23 \pm 2^\circ$  C. en condición húmeda o hasta su ensayo.

#### **4.3.5 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: revenimiento, temperatura y peso volumétrico del concreto fresco.

### **ENSAYO DE REVENIMIENTO BAJO ASTM C 143.**

Las variaciones en la consistencia del concreto determinan la trabajabilidad del mismo, esta característica determina la facilidad y homogeneidad en que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado.

Este ensayo fue desarrollado originalmente con la finalidad de proporcionar una técnica para controlar la consistencia del concreto no endurecido. En condiciones de laboratorio, con un estricto control de todos los materiales del concreto, el revenimiento es generalmente encontrado para ser incrementado proporcionalmente con el contenido de agua de una mezcla de concreto dada, y por lo tanto ser inversamente vinculado con la resistencia del concreto. Bajo condiciones de campo, sin embargo, no está clara y consistentemente demostrado como una relación de resistencia. Se debe tener cuidado en relacionar resultados de revenimiento obtenidos bajo condiciones de campo con la resistencia.

La norma ASTM C 143 “**Método estándar de ensayo para revenimiento del concreto fresco**”, determina el procedimiento para determinar el revenimiento del concreto recién mezclado.

Equipo:

Molde

El espécimen de ensayo deberá ser formado en un molde de metal que no sea fácilmente atacado por la pasta de cemento. El metal no deberá ser más delgado que 1.5 mm (0.060 pulg) y si es formado con el proceso de repujado, en ningún punto del molde el espesor deberá ser menor de 1.15 mm (0.045 pulg). El molde deberá tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 200 mm (8 pulg) de diámetro y la parte superior de 100 mm (4 pulg) de diámetro, con una altura de 300 mm (12 pulg). Las dimensiones del diámetro y altura deberán tener una tolerancia de  $\pm 3$  mm (1/8 pulg) con respecto a las dimensiones especificadas. La base y la tapa se deberán de abrir y ser paralelas la una con la otra y en ángulo recto con el eje del cono.

El molde estará provisto de piezas en la base y los mangos similares a los mostrados en la Figura 4.7, el molde se deberá haber construido sin ninguna costura. El interior del molde deberá ser relativamente liso y libre de protuberancias. El molde deberá estar libre de abolladuras, deformaciones o mortero adherido.

Un molde con abrazaderas a una placa base no absorbente es aceptado en lugar del mostrado, siempre que el arreglo de agarraderas sea tal que pueda ser completamente liberado sin movimiento del molde y la base sea lo

suficientemente larga para contener todo el concreto revenido en una prueba aceptable.

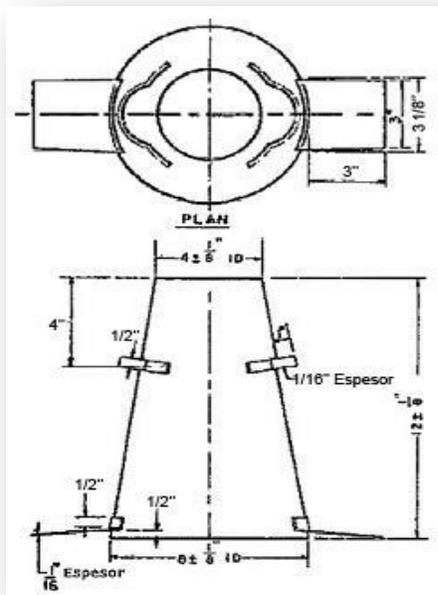


Figura 4.7: Molde para revenimiento  
Fuente: Material didáctico Tecnología del Concreto FIA UES

#### Varilla Apisonadora

Una varilla de acero recta, redonda, de 16 mm (5/8 pulg)  $\pm$  2 mm (1/16 pulg) de diámetro. La longitud de la varilla apisonadora deberá ser al menos 100 mm (4 pulg) más grande que la profundidad del molde en el cual es realizado el varillado, pero no mayor que 600 mm (24 pulg) de longitud total. La tolerancia de longitud para la varilla de apisonamiento deberá ser de  $\pm$  4 mm (1/8 pulg). La

varilla deberá tener en un extremo del apisonador, o ambos extremos, una punta semiesférica del mismo diámetro que la varilla.

#### Dispositivo de medición

Una cinta métrica para medir, o un instrumento similar rígido o semirígido para medir longitud, especialmente marcado para medir en incrementos de 5 mm (1/4 pulg) o menos. La longitud del instrumento deberá ser de al menos 300 mm (12 pulg).

#### Cucharón

De un tamaño lo suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenido de la toma de muestreo sea representativo y lo suficientemente pequeño como para que no se derrame durante la colocación en el molde.

### **Procedimiento.**

Humedezca el molde con agua limpia.

Coloque el molde en una superficie rígida, plana, nivelada, húmeda y no absorbente, libre de vibraciones, y que sea de una longitud suficiente para contener todo el concreto asentado.

Coloque los pies en los dos pedales, de manera que el molde se encuentre sostenido firmemente en el lugar, durante el llenado y limpieza del perímetro.

Utilizando el cucharón, tome una porción del concreto fresco recién mezclado que se ensayará.

Llene el molde con el concreto fresco hasta un tercio de su volumen.

Varille la primera capa con 25 golpes de la varilla apisonadora, distribuyendo los golpes uniformemente sobre la sección transversal de cada capa. Para el fondo de la capa será necesario inclinar la varilla ligeramente y hacer aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, y después progresando con golpes verticales en dirección de espiral hacia el centro.



Figura 4.8: Varillado de la primera capa para revenimiento  
Fuente: Propia

Agregue la segunda capa de concreto aproximadamente a  $2/3$  del volumen del molde.

Varille la segunda capa con 25 golpes de la varilla apisonadora a través de su profundidad, tal que el golpe penetre dentro de la capa subyacente aproximadamente 25 mm (1 pulg).

Agregue concreto en la última capa, apilando el concreto sobre el molde antes que el varillado sea iniciado.



Figura 4.9: Varillado de última capa para revenimiento  
Fuente propia: Los Autores

Varille la última capa con 25 golpes de la varilla apisonadora a través de su profundidad, tal que el golpe penetre dentro de la capa subyacente aproximadamente 25 mm (1 pulg). Si la operación de varillado resulta en disminución del concreto bajo el filo superior del molde, añada concreto adicional para mantener un exceso de concreto sobre la tapa del molde todo el tiempo.



Figura 4.10: Varillado de las diferentes capas para revenimiento  
Fuente: Propia

Alise la superficie del concreto por medio de un movimiento de rodado y enrasado con la varilla apisonadora.

Continúe sosteniendo firmemente el molde y remueva el concreto del área alrededor de la base del cono de revenimiento para excluir interferencia con el movimiento del concreto asentado.

Levante el molde de revenimiento cuidadosamente una distancia de 300 mm, en dirección vertical sin movimiento lateral o torsional en  $5 \pm 2$  segundos. Complete el ensayo entero desde el inicio del llenado a través de la remoción del molde sin interrupción y complétala dentro de un tiempo transcurrido de  $2 \frac{1}{2}$  min.

Mida inmediatamente el revenimiento por la determinación de la diferencia vertical entre la tapa del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.

Registre el resultado del revenimiento en pulgadas (milímetros) con una aproximación de 1/4 pulg (5mm).



Figura 4.11: Registro de resultado del revenimiento  
Fuente: Propia

#### **ENSAYO DE TEMPERATURA BAJO ASTM C 1064.**

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.

Equipo:

Contenedor

Deberá ser suficientemente grande para proporcionar por lo menos 75 mm de concreto en todas las direcciones alrededor del sensor del dispositivo medidor de la temperatura.

Dispositivo Medidor de Temperatura.

Deberá ser capaz de medir con precisión la temperatura del concreto recién mezclado  $\pm 0.5$  °C en todo intervalo de 0° a 50 °C. El diseño del dispositivo de medición de temperatura deberá ser de tal forma que permita 75 mm o más de inmersión durante la operación.

### **Procedimiento.**

Humedezca con agua el contenedor de muestras.

Muestree el concreto recién mezclado en conformidad con una guía de muestreo del concreto recién mezclado.

Coloque el concreto recién mezclado en el contenedor.

Coloque el dispositivo de medición de temperatura de manera que el extremo de la parte de detección de la temperatura se sumerja un mínimo de 75 mm en el concreto recién mezclado.

Cierre el vacío dejado por la colocación del dispositivo presionando suavemente el concreto alrededor del dispositivo de medición de temperatura en la superficie del concreto, para evitar que la temperatura del aire afecte a la lectura.

Deje el dispositivo de medición de la temperatura en el concreto recién mezclado por un período mínimo de 2 minutos pero no mayor de 5 minutos.

Lea y anote la temperatura con una precisión de 0.5 °C. No retire el dispositivo del concreto cuando se lea la temperatura.



Figura 4.12: Ensayo de temperatura para el concreto fresco  
Fuente: Propia

## **ENSAYO ESTANDAR PARA EL PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO BAJO ASTM C138**

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad en mezclas de concreto fresco y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire del concreto. La norma ASTM C 138 **“Realización del método de ensayo estándar para el Peso Volumétrico (Peso Unitario o Densidad), del concreto fresco”**, determina el procedimiento para la calcular el Peso Volumétrico del concreto recién mezclado.

El peso Volumétrico o Densidad: Es la masa por unidad de volumen. La densidad del concreto es también conocida como masa volumétrica, unidad de peso o masa unitaria, esta depende de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.

Generalmente su aplicación e importancia en el concreto fresco, es para su aceptación en la obra como parte del control de calidad, se le realizan pruebas de contenido de aire, densidad y rendimiento, cuyo objetivo es garantizar la seguridad de la obra en construcción mediante el cumplimiento de las especificaciones del concreto establecidas por el diseñador.

## **Materiales y equipo**

Materiales:

Muestra de concreto fresco recién mezclado

Equipo Principal:

Balanza

Una balanza o báscula con precisión de 0.45 g o dentro del 0.3% de la carga de ensayo, la que sea mayor en algún punto del rango de uso.

Varilla de Apisonado

Una varilla de acero redonda, con un diámetro de  $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . La longitud de la varilla de apisonamiento deberá ser como mínimo de 100 mm mayor que la profundidad de la medida en que se está realizando la varilla, pero no superior a 600 mm de longitud total. La tolerancia de la longitud de la varilla de apisonamiento será de  $\pm 4 \text{ mm}$ . La varilla tendrá el extremo del apisonador o ambos extremos redondeados con una punta semiesférica del mismo diámetro que la varilla.

Recipiente para Medir

Un recipiente de acero u otro metal adecuado. La capacidad mínima del recipiente medidor deberá ser de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado en el concreto a ser ensayado.

### Placa de Enrasado

Una placa plana metálica rectangular de al menos 6 mm de espesor o una placa de vidrio o acrílica de al menos 12 mm de espesor, con una longitud y ancho de al menos 50 mm mayor que el diámetro del recipiente graduado con el que se va a utilizar. Los bordes de la placa deberán ser rectos y lisos con una tolerancia de 2 mm.

### Mazo

Un mazo (con cabeza de caucho o cuero crudo) que tenga una masa  $600 \pm 200$  g para usarse con el recipiente de 14 L (0.5 pie<sup>3</sup>) o menor, y un mazo que tenga una masa de  $1000 \pm 200$  g para usarse con recipientes graduados mayores a 14 L.

### Cucharón

Deberá ser de un tamaño lo suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenidos de la toma de muestra sea representativa, y lo suficientemente pequeña como para que no se derrame durante la colocación en el recipiente graduado.

## **Procedimiento**

El muestreo se realizara conforme a una guía de laboratorio sobre el “Muestreo del Concreto Fresco”.

Verifique el tamaño máximo nominal del agregado grueso y seleccione la capacidad del recipiente a utilizar en la prueba mediante la Tabla 4.15

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Capacidad del Recipiente Graduado	
mm	(pulg.)	Litros (Pie <sup>3</sup> )	
25.0	1	6	0.2
37.5	1 ½	11	0.4
50	2	14	0.5
75	3	28	1.0
112	4 ½	70	2.5
150	6	100	3.5

Tabla 4.15: Capacidad del recipiente para peso volumétrico del concreto fresco  
Fuente: Material Didáctico Tecnología del Concreto UES-FIA.

Seleccione el método de consolidación mediante el revenimiento utilizando de acuerdo a la tabla 4.16 a menos que el método sea establecido en la especificación bajo el cual está siendo desarrollado.

Método de Consolidación	Revenimiento
<b>Varillado</b>	> 3 pulg (75 mm)
<b>Varillado o Vibrado</b>	1 a 3 pulg(25 a 75 mm)
<b>Vibrado</b>	< 1 pulg (25 mm)

Tabla 4.16: Método de Consolidación  
Fuente: Material Didáctico Tecnología del Concreto UES-FIA.

### Consolidación por el Método de Varillado

Coloque el concreto en el recipiente graduado en tres capas de aproximadamente igual volumen.

Seleccione el número de golpes de varilla según el volumen del recipiente utilizando la tabla 4.17

Volumen del recipiente	Numero de golpes de varilla por capa
≤ 14 L	25 golpes
28 L	50 golpes
>28 L	1 golpe por cada 20 cm <sup>2</sup> de superficie para recipientes graduados mayores

Tabla 4.17: Número de golpes para varillado por capa  
Fuente: Material Didáctico Tecnología del Concreto UES-FIA.

Varille cada capa de manera uniforme sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla, aplicando el número de golpes requeridos.

Varille la capa inferior en toda su profundidad. En el varillado de esta capa, tenga cuidado de no dañar la parte inferior del recipiente graduado. Para cada capa superior, permita que la varilla penetre a través de la capa varillada y dentro de la capa inferior aproximadamente 25 mm.

Golpee suavemente, después que cada capa es varillada, los lados del recipiente graduado de 10 a 15 veces con el mazo apropiado usando la fuerza para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla de apisonamiento y liberar algunas burbujas grandes de aire que puedan haber sido atrapadas.

Añada la capa final para evitar el llenado excesivo.

#### *Remoción del Exceso de Concreto*

Remueva el excedente de la capa superior del concreto y aplique un acabado liso con la parte plana de la placa de remoción de concreto, teniendo cuidado de dejar el recipiente graduado adecuadamente lleno y nivelado.

Presione la placa de remoción de concreto sobre la superficie superior del recipiente graduado cubriendo aproximadamente dos terceras partes de la superficie y avanzando con una presión vertical y un movimiento de “zigzag” para cubrir toda la superficie del recipiente graduado.

Coloque la placa en el borde superior del recipiente graduado, cubriendo los dos tercios originales y avance con presión vertical y movimiento de “zigzag” sobre toda la superficie, y continúe avanzando hasta que se deslice completamente fuera del recipiente graduado.

Realice varias pasadas finales con el borde inclinado de la placa para producir una superficie con acabado liso.

#### *Limpieza y Pesado*

Después de la remoción del exceso de concreto, limpie todo el exceso de concreto del exterior del recipiente graduado.

Determine la masa del concreto y del recipiente graduado con una precisión de 0.45 g.

## Cálculos

Peso Volumétrico (Peso Unitario o Densidad)

Calcule la densidad, dividiendo le masa neta de concreto por el volumen del recipiente graduado.

$$P.V.C = \frac{M_C - M_m}{V_m} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Dónde:

P.V.C = Peso Volumétrico (peso unitario o Densidad) del concreto, lb/pie<sup>3</sup> o Kg/m<sup>3</sup>.

$M_C$  = masa del recipiente graduado lleno de concreto, lb o Kg.

$M_m$  = masa del recipiente graduado, lb o Kg.

$V_m$  = volumen del recipiente graduado, pie<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

### 4.3.6 ETAPA VI: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.

Cumplidas las edades de los especímenes se realizaran las pruebas de ensayo de resistencia a la flexión, compresión y módulo de elasticidad estático.

#### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO ASTM C 78.

Para controlar la resistencia del concreto endurecido se puede estudiar bajo dos condiciones de carga: tensión y compresión. Aunque el concreto no se diseña

para resistir tensión directa, el conocimiento de este valor estriba en determinar el valor de la carga bajo la cual desarrollaran grietas. El esfuerzo de tensión máxima que se alcanza teóricamente en las fibras del fondo de la viga de prueba se llama MÓDULO DE RUPTURA y resulta de gran utilidad en proyectos de losas para carreteras y pistas de aterrizaje en aeropuertos. La tensión suele determinarse por flexión en vigas o por compresión diametral en cilindros (prueba brasileña).

El ensayo de flexión puede determinarse utilizando viguetas simplemente cargadas en los tercios del claro A.S.T.M C78 **“Resistencia a la Flexión en Vigas de Concreto”**.

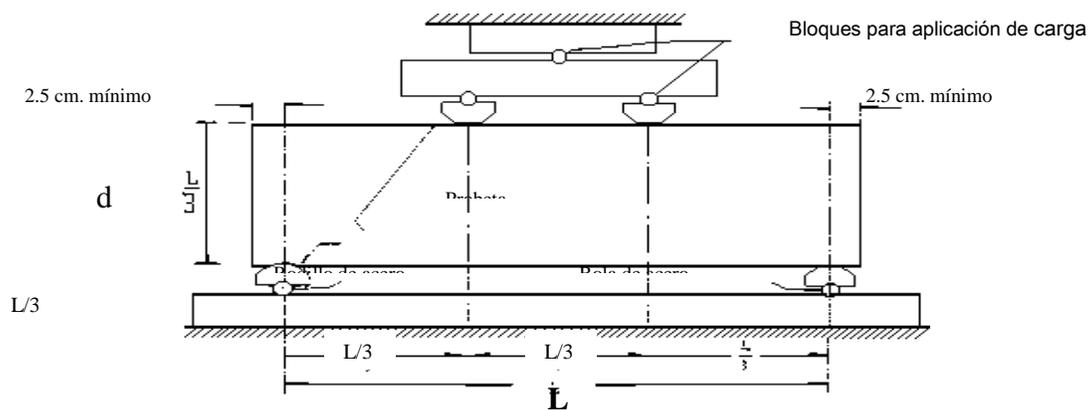


Figura 4.13 Ensayo de flexión en vigas de concreto  
Fuente: Material Didáctico Tecnología del Concreto UES-FIA.

**Equipo:**

Viguetas.

Cinta métrica o calibrador

Balanza de 1 g de precisión.

Escuadra

Máquina de Carga.

**Procedimiento**

Los especímenes de prueba deberán ser mantenidos húmedos por un método adecuado durante el periodo desde que son removidos del almacenaje húmedo y la prueba. Ellos deberán ser probados en condición húmeda.

Cuando se usan especímenes moldeados, gire el espécimen a ensayar con respecto a su posición como fue moldeado

Dividir y marcar la vigueta en tres partes, (se aplicará la carga en los tercios medios del claro) lo que nos servirá de referencia para aplicar la carga.

Colocar la viga en los rodillos de apoyo del cabezal inferior de la máquina universal.

Ubique la base o ancho de la viga sobre los rodillos de apoyo.

Centre los rodillos de transmisión de carga con respecto al dispositivo que aplica la fuerza vertical sin excentricidad.

Cargar el espécimen continuamente y sin golpe. La carga deberá ser aplicada a una razón constante hasta el punto de rotura. Aplique la carga en una razón que continuamente incremente los esfuerzos en la fibra extrema entre 0.86 y 1.21 MPa/min, hasta que ocurra la fractura.

Anote la carga máxima y el tipo de fractura.

Para determinar las dimensiones del espécimen en su sección transversal para usarse en el cálculo del módulo de ruptura, tome medida a través de una de las caras fracturadas después del ensayo.

Para cada dimensión, tome una, medida en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Use las tres mediciones en cada dirección para determinar el promedio de ancho y profundidad. Tome todas las medidas con aproximación de 1 mm.

Calcule el módulo de ruptura para las vigas cargadas al tercio medio de la siguiente manera:

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

$$M_R = \frac{P \times L}{b \times d^2} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Dónde:

MR: Módulo de Ruptura.

P: Carga máxima, en Kg.

L: Longitud entre apoyos, en cm.

b : Ancho promedio de la viga, en cm.

d : Altura promedio de la viga, en cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, en no más de cinco por ciento del claro, el MR se calcula como sigue:

$$M_R = \frac{(3Pa)}{bd^2} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Dónde:

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

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

### **ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BAJO ASTM C 39.**

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 realizara una calendarización de las fechas de rupturas según edades correspondientes y en

el cual se tomaran 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 días, las tolerancias para dichas edades se presenta en la tabla siguiente

Edad de Ensayo	Tolerancia Permisible
<b>24 h</b>	$\pm 0.5h$ o 2.1%
<b>3 días</b>	2h o 2.8%
<b>7 días</b>	6 h o 3.6%
<b>28 días</b>	20 h o 3.0%
<b>90 días</b>	2 días o 2.2%

Tabla 4.18: Tolerancias permisibles según edad de ensayo a la compresión  
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, 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.**

Retire el espécimen del cuarto húmedo.

Coloque el espécimen sobre la mesa de trabajo.

Utilizando una franela, eliminar la humedad superficial del espécimen.

Determinar el peso del espécimen.

Medir la longitud del espécimen en dos lados opuestos.

Medir el diámetro del cilindro en dos lados con sentidos opuestos y perpendiculares entre sí.

Cubrir los especímenes con franelas o papel húmedo, para que se mantenga superficialmente húmedo.

Para conseguir una distribución uniforme de la carga, los cilindros pueden ser refrentados con mortero de azufre (siguiendo la Norma ASTM C 617(Standar practice for capping cylinders concrete specimens) o con tapas de almohadillas de neopreno Norma ASTM C 1231( Standar practice for use of ubonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders) 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.

Colocar el espécimen sobre el bloque de apoyo inferior, alineando cuidadosamente el eje del espécimen con el centro del bloque con asiento esférico.

Verifique que el indicador de carga se encuentre en “cero”.

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.

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.

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.

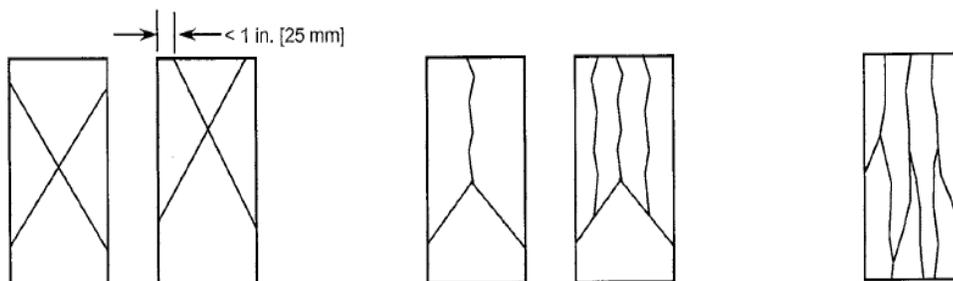
Registre la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Anote el tipo de falla obtenido de acuerdo a la 4.20 Si el patrón de falla no es uno de los patrones típicos dibuje y describa brevemente el tipo de falla.

Determine la resistencia a la compresión según la siguiente ecuación :

$$f_c = \frac{\text{Carga registrada por la maquina(kg)}}{\text{Área (cm}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

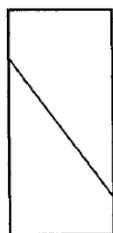
## PATRONES DE FRACTURA TÍPICOS



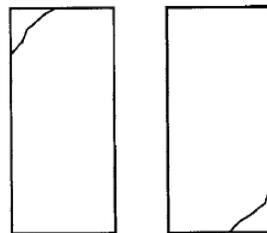
**Tipo 1:**  
Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, con menos de 1 pulg (25 mm) de grietas a través de las tapas.

**Tipo 2:**  
Un cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas, en el otro extremo un cono no muy bien definido.

**Tipo 3:**  
Grietas en columnas verticales en ambos extremos, con conos no muy bien definidos



**Tipo 4:**  
Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos, golpee suavemente para no confundirlo con la tipo 1.



**Tipo 5:**  
Fracturas en la parte superior e inferior (ocurre comúnmente con las tapas no unidas).



**Tipo 6:**  
Similar al tipo 5, pero el extremo del cilindro es puntiagudo.

Figura 4.14: Patrones de figuras típicos

Fuente: ASTM C39/C39M -09a "Método de ensayo estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto". Página 5.

#### **4.3.7 ETAPA VII: 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, de esta manera se podrá determinar cuál de las dos metodologías ofrece mayores ventajas sobre todo en resistencia a la flexión la cual constituye la idea central de este trabajo de graduación.

Además de la evaluación de resistencia mecánica (Flexión), con el resto de ensayos realizados tanto al concreto fresco como endurecido pretendemos como grupo de trabajo poder generar conclusiones e ideas que ayuden a esclarecer ciertos aspectos en cuanto a decidir cuál de ambas metodología genera mayores ventajas no solo en resistencia mecánica sino también en cuanto a la trabajabilidad y manejo de la masa de concreto.

Con la ayuda de estos datos, el resto de las pruebas a realizar y un sencillo análisis estadístico se podrán obtener relaciones entre los distintos ensayos realizados tanto al concreto fresco como endurecido:

La resistencia a la Flexión, Compresión

Módulo de elasticidad.

Temperatura del concreto

Peso Volumétrico del Concreto Fresco.

Revenimiento.

## **CAPÍTULO V**

# **DISEÑOS DE MEZCLAS**

## 5.1 GENERALIDADES

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 para la elaboración del concreto. En el caso del presente trabajo de investigación se determinan algunos ensayos de los agregados que en el capítulo IV se describió de manera teórica, los procedimientos a utilizar en el laboratorio para obtener los resultados que en este capítulo se muestran.

Los diseños que se elaborarán son a partir de su resistencia a la Flexión (Módulo de Ruptura), los cuales se logran mediante estudios sobre el comportamiento mecánico que desarrollan ciertas relaciones de A/C. En el capítulo anterior se describió también de manera teórica la manera de obtener las Curvas de Desempeño para diferentes valores de resistencia a la Flexión y relaciones A/C.

Bajo estas características se presentan a continuación los diseños teóricos para la metodología de dosificación Fuller y manteniendo constante la relación A/C; se diseña y verifica el comportamiento mecánico del concreto dosificado bajo la metodología Shilstone.

## 5.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA

En la Etapa II del Capítulo 4 de este documento se muestran los procedimientos para realizar cada ensayo a los materiales pétreos que se utilizarán para producir la mezcla de concreto, con lo que se verifica las propiedades de estos mismos. Por otro lado ensayos como la Gravedad Específica y absorción del agregado (fino y grueso), y la Gravedad específica del Cemento que se especifican en la Tabla 5.1 no se realizan dado que ya son proporcionados por la empresa HOLCIM<sup>5</sup>. Los ensayos que se realizaron para determinar sus características se muestran en la Tabla 5.2

Prueba	Norma	Resultados
<b>Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso # 67</b>	ASTM C-127	Gs= 2.60 % Abs.= 1.50
<b>Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso # 4</b>	ASTM C-127	Gs= 2.62 % Abs.= 0.70
<b>Gravedad Específica y Absorción de Agregado Fino</b>	ASTM C-128	Gs= 2.60 % Abs. = 2.50
<b>Gravedad Específica del Cemento</b>	ASTM C-188	3.10

Tabla 5.1: Datos de Ensayos Proporcionados por HOLCIM.

Fuente: Propia.

<sup>5</sup> Debido al completo y total control de los materiales que se mantiene en las instalaciones de la planta, no se realizan estos ensayos a los agregados.

Prueba	Norma
<b>Granulometría de Agregado Grueso</b>	ASTM C-136
<b>Granulometría de Agregado Fino</b>	ASTM C-136
<b>Peso Volumétrico varillado y suelto para Agregado Grueso</b>	ASTM C-29
<b>Contenido de Humedad</b>	ASTM C 566

Tabla 5.2: Ensayos a realizar a los agregados.  
Fuente: Propia.

Los resultados de cada ensayo se encuentran reflejados en la Tabla 5.3:

Ensayo de Laboratorio	Norma usada	Resultados	Referencia
<b>Granulometría de Agregado Grueso 1</b>	ASTM C-136	Grava # 67 según ASTM C 33	Tabla N° 5.4
<b>Granulometría de Agregado Grueso 2</b>	ASTM C-136	Grava # 4 según ASTM C 33	Tabla N° 5.5
<b>Granulometría de Agregado Fino</b>	ASTM C-136	MF= 3.38	Tabla N° 5.6
<b>Peso Volumétrico varillado y suelto para Agregado Grueso 1</b>	ASTM C-29	PVS= 1470 Kg/m <sup>3</sup> PVV= 1521 Kg/m <sup>3</sup>	Tabla N° 5.7 Tabla N° 5.8
<b>Peso Volumétrico varillado y suelto para Agregado Grueso 2</b>	ASTM C-29	PVS= 1815 Kg/m <sup>3</sup> PVV= 1933 Kg/m <sup>3</sup>	Tabla N° 5.9 Tabla N° 5.10

Tabla 5.3: Resultados de Ensayos Realizados.  
Fuente: Propia.

A continuación se detallan los datos obtenidos en laboratorio para cada ensayo:



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación  
 Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
 Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
 aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 2  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 12/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 2

Muestra N°: 1

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO 1 ASTM C 136

PESO INICIAL: 5000.10 Kg

MALLA	PESO RETENIDO (G)	PORCENTAJE RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	OBSERVACIONES
		% PARCIAL	% ACUMULADO		
					<b>Rangos ASTM C-33</b>
2"	0	0.00	0	100	
1.5"	0	0.00	0	100	
1"	0	0.00	0	100	100
3/4"	38.7	0.77	1	99	90-100
1/2"	1188.3	23.77	24	75	
3/8"	1188.5	23.77	24	52	20-55
Nº 4	2449.5	48.99	49	3	0-10
Nº 8	88.1	1.76	2	1	0-5
Nº 16	15.8	0.32	0	1	
Nº 30	8.6	0.17	0	0	
Nº 50	6.3	0.13	0	0	
Nº 100	6.2	0.12	0	0	
Fondo	10.1	0.20	0	0	
Suma	5000.1				

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tabla 5.4: Resultado de Granulometría de agregado grueso 1.  
 Fuente: Propia

**CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO**  
 (Según tamaño del agregado # 67, Tabla 4.1.1, ASTM C-33)

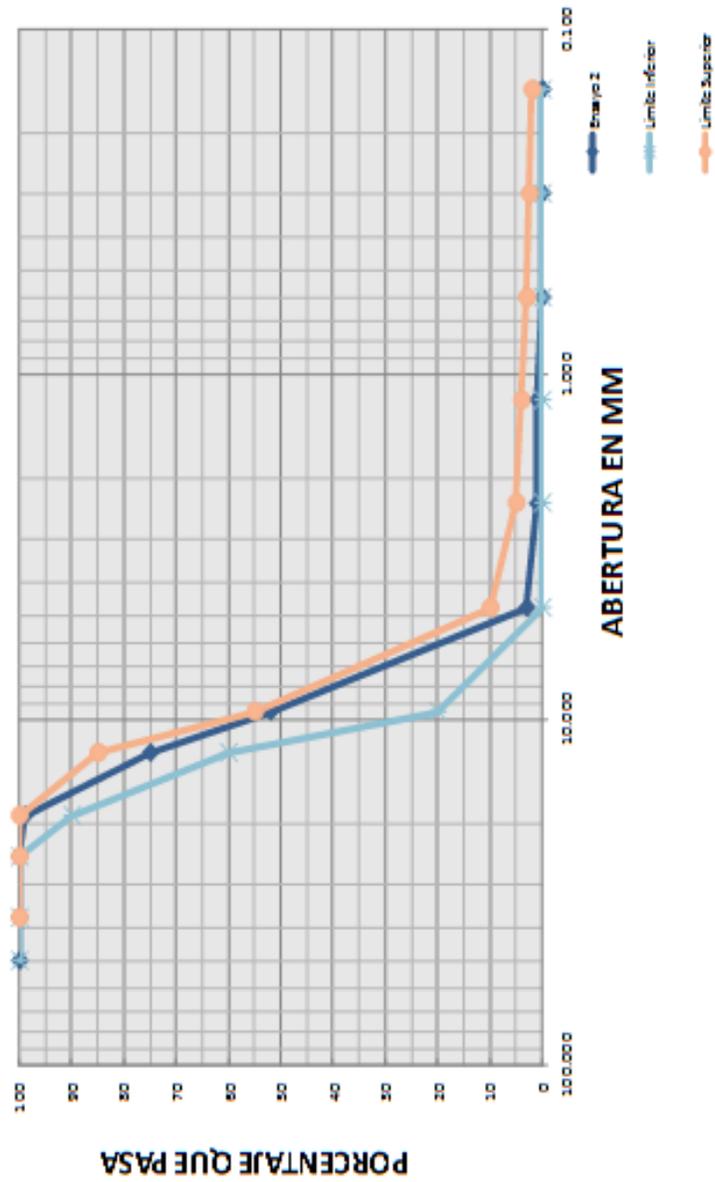


Figura 5.1: Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado grueso 1.  
 Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación  
 Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
 Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
 aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 1  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 12/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 1

Muestra N°: 1

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO 2 ASTM C 136

PESO INICIAL: 15090.40 Kg

MALLA	PESO RETENIDO (G)	PORCENTAJE RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	OBSERVACIONES
		% PARCIAL	% ACUMULADO		
					<b>Rangos ASTM C-33</b>
2"	0	0.00	0	100	100
1.5"	541.6	3.59	4	96	90-100
1"	9039.4	59.90	60	37	
3/4"	4588.1	30.40	30	94	20-55
1/2"	850.7	5.64	6	100	0-5
3/8"	50.1	0.33	0	100	
Nº 4	20.5	0.14	0	100	
Nº 8	0	0.00	0	100	
Nº 200	0	0.00	0	100	
Fondo	0	0.00	0	100	
Suma	15090.4				

OBSERVACIONES: En la malla 3/4" no pasó el porcentaje requerido en la norma es por eso  
que en ese punto de la gráfica este cae fuera de los límites establecidos

Tabla 5.5: Resultado de granulometría de agregado grueso 2.

Fuente: Propia

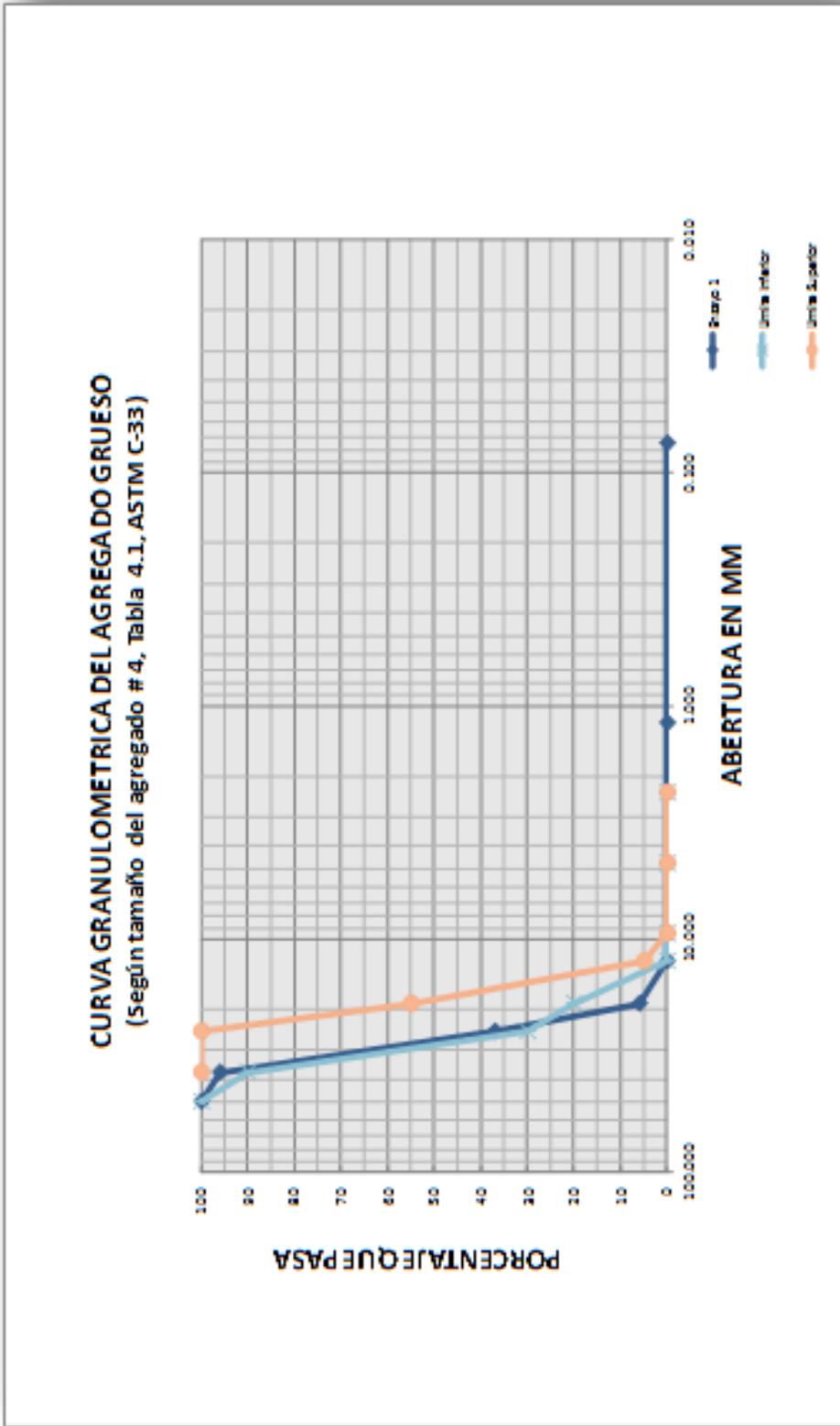


Figura 5.2: Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado grueso 2.  
Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación  
Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 1  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 12/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 3

Muestra N°: 1

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO ASTM C 136

PESO INICIAL: 350.30 Kg

MALLA	PESO RETENIDO (G)	PORCENTAJE RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	OBSERVACIONES
		% PARCIAL	% ACUMULADO		
					<b>Rangos ASTM C-33</b>
3/8"	0	0.00	0	100	100
Nº 4	19.3	5.51	6	94	95-100
Nº 8	72.7	20.75	21	74	80-100
Nº 16	96.6	27.58	28	46	50-85
Nº 30	68.7	19.61	20	27	25-60
Nº 50	44.4	12.67	13	14	5-30
Nº 100	24.2	6.91	7	7	0-10
Fondo	24.4	6.97	7	100	
Suma	350.3				

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Acumulado Retenido } \#4 - \# 100}{100} = \frac{338}{100} = 3.38$$

OBSERVACIONES: En la malla Nº 4, Nº 8 y Nº 16, no pasó el porcentaje requerido en la norma,  
es porque en ese punto de la gráfica cae fuera de los límites establecidos

Tabla 5.6: Resultado de granulometría de agregado fino.  
 Fuente: Propia.

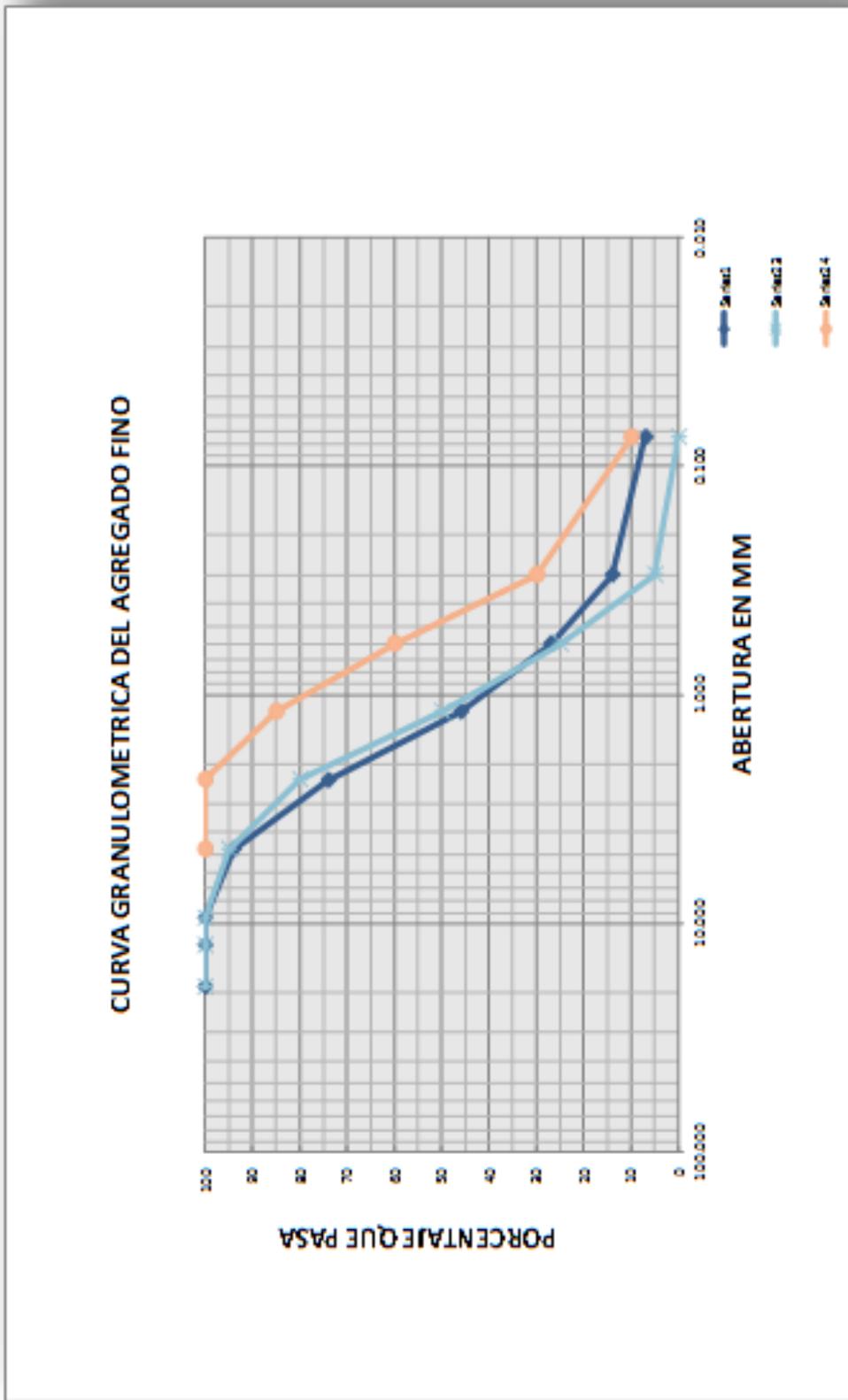


Figura 5.3: Gráfico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico del agregado fino.  
Fuente: Propia.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación de  
 Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
 Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
 aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 1  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 15/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 1

Muestra N°: 1

### DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO ASTM C 29

MATERIAL: GRAVA # 67

# de Molde:	1
Altura de Molde(cm):	28
Diámetro de Molde(cm):	21
Peso de Molde (kg):	5.906
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ):	9698.1

ENSAYO No.	1	2	3
Peso de molde (Kg)	5.906	5.906	5.906
Peso de molde + material (Kg)	20.100	20.200	20.200
Peso de material (Kg)	14.194	14.294	14.294
Volumen de molde (m <sup>3</sup> )	0.0096981	0.0096981	0.0096981
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	1464	1474	1474
Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	1470		

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tabla 5.7: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado grueso 1.

Fuente: Propia.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación de  
 Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
 Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
 aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 1  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 15/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 2

Muestra N°: 1

### DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO ASTM C 29

MATERIAL: GRAVA # 67

# de Molde:	1
Altura de Molde(cm):	28
Diámetro de Molde(cm):	21
Peso de Molde (kg):	5.906
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ):	9698.1

ENSAYO No.	1	2	3
Peso de molde (Kg)	5.906	5.906	5.906
Peso de molde + material (Kg)	20.800	20.700	20.700
Peso de material (Kg)	14.894	14.794	14.794
Volumen de molde (m <sup>3</sup> )	0.0096981	0.0096981	0.0096981
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	1536	1525	1525
Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	1529		

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tabla 5.8: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso 1.  
 Fuente: Propia.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación de  
 Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
 Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
 aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Reporte N° : 1  
 Hoja N° : 1  
 Fecha: 15/07/2013

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil  
 Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 1

Muestra N°: 1

### DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO ASTM C 29

MATERIAL: GRAVA # 4

# de Molde:	2
Altura de Molde(cm):	31.5
Diámetro de Molde(cm):	23.2
Peso de Molde (kg):	8.759
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ):	13316.08

ENSAYO No.	1	2	3
Peso de molde (Kg)	8.759	8.759	8.759
Peso de molde + material (Kg)	32.800	33.100	32.900
Peso de material (Kg)	24.041	24.341	24.141
Volumen de molde (m <sup>3</sup> )	0.0133161	0.0133161	0.0133161
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	1805	1828	1813
Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	1815		

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tabla 5.9: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado grueso 2,  
 Fuente: Propia.



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"**



Proyecto: Trabajo de Graduación: "Evaluación y comparación de  
Módulos de Ruptura para mezclas de concreto  
Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos  
aplicando granulometría Fuller y Shilstone"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: "La Cantera"

Ensayo N° : 2

Muestra N°: 1

Reporte N° : 1

Hoja N° : 1

Fecha: 15/07/2013

**DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**ASTM C 29**

**MATERIAL: GRAVA # 4**

# de Molde:	2
Altura de Molde(cm):	31.5
Diámetro de Molde(cm):	23.2
Peso de Molde (kg):	8.759
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ):	13316.08

ENSAYO No.	1	2	3
Peso de molde (Kg)	8.759	8.759	8.759
Peso de molde + material (Kg)	34.600	34.200	34.700
Peso de material (Kg)	25.841	25.441	25.941
Volumen de molde (m <sup>3</sup> )	0.0133161	0.0133161	0.0133161
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	1941	1911	1948
Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	1933		

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Tabla 5.10: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso 2.

Fuente: Propia.

### 5.3 CÁLCULO DEL DISEÑO DE LA MEZCLA

Los diseños que se reproducen en la presente investigación fueron proporcionados por la empresa HOLCIM, quienes poseen las respectivas curvas de desempeño a fin de obtener para ciertas relaciones de A/C; la resistencia a la Flexión esperada. Estas por motivos de confidencialidad no pueden ser presentadas en esta investigación. Para poder utilizar estos diseños deberá de utilizarse materiales con las mismas características que se especifican o realizar las respectivas pruebas de laboratorio para su control, en ningún momento de la investigación se pretende validar los diseños proporcionados.

Los diseños que se nos facilitaron son válidos únicamente para mezclas dosificadas bajo la metodología Fuller, por lo que para los diseños bajo la metodología de dosificación Shilstone son establecidos por los autores, en donde únicamente se mantendrá constante la relación A/C y la cantidad total en masa de agregados gruesos y finos del diseño de mezclas proporcionado por HOLCIM.

Antes de la elaboración de los especímenes de prueba que constituye el punto medular de este trabajo de graduación se desarrollaron especímenes preliminares para conocer su resistencia a la Flexión a edades de 7 días, tanto para metodología Fuller como Shilstone; esto por la razón de que; para el diseño que se nos facilitó el porcentaje de agregados no cumplía según nuestro

criterio; con el análisis granulométrico integral para ambas metodologías (Fuller y Shilstone). Por lo que se procedió al reacomodo del porcentaje de agregados manteniendo constante lo especificado anteriormente.

## DISEÑO DE MEZCLAS PROPORCIONADO POR HOLCIM PARA UN METRO CÚBICO BAJO METODOLOGÍA FULLER

$M_R = 37 \text{ Kg/cm}^2$  (DIRECTO)

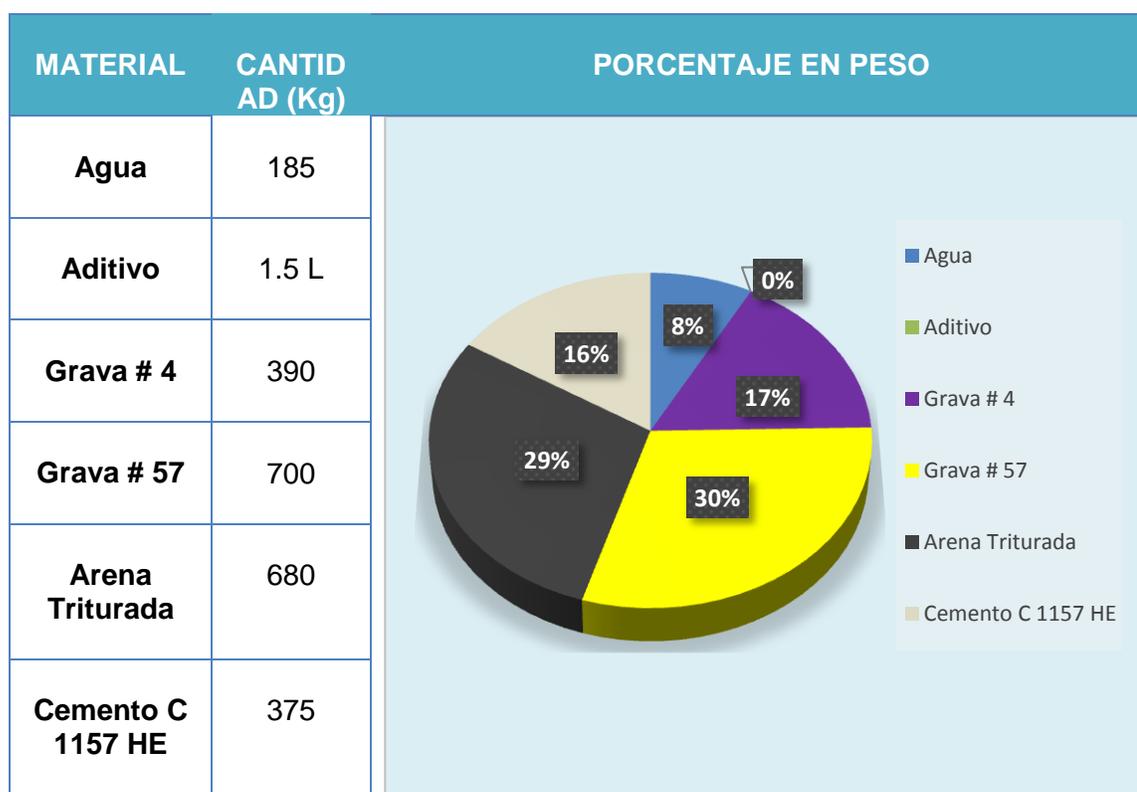


Tabla 5.11: Porcentaje en peso para cada componente de la mezcla para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Diseño de Mezclas HOLCIM.

A continuación se muestra en la Tabla 5.12, la cantidad de agregado y su porcentaje en función de su masa total para un  $M_R = 37 \text{ Kg/cm}^2$

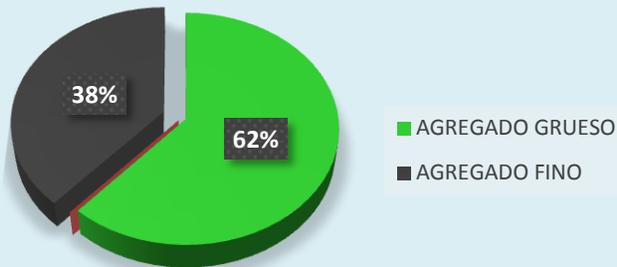
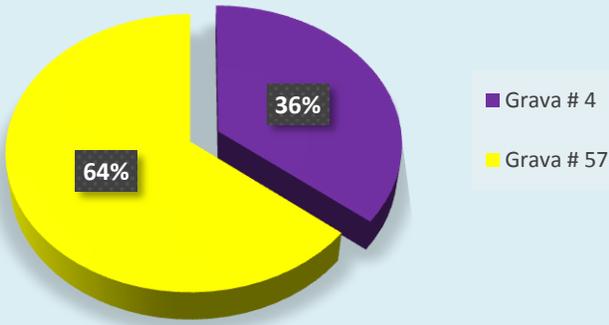
MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	PORCENTAJE DE AGREGADO EN SU FUNCION DE SU MISMA MASA TOTAL
AGREGADO GRUESO	1090	<p><b>% DE AGREGADO GRUESO Y FINO</b></p>  <p>■ AGREGADO GRUESO ■ AGREGADO FINO</p>
AGREGADO FINO	680	
<p><b>Análisis Granulométrico combinado en función de la masa total del agregado grueso</b></p>		<p><b>% DE AGREGADO GRUESO</b></p>  <p>■ Grava # 4 ■ Grava # 57</p>

Tabla: 5.12: Porcentaje de agregados para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Diseño de Mezclas HOLCIM.

$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$  (DIRECTO)

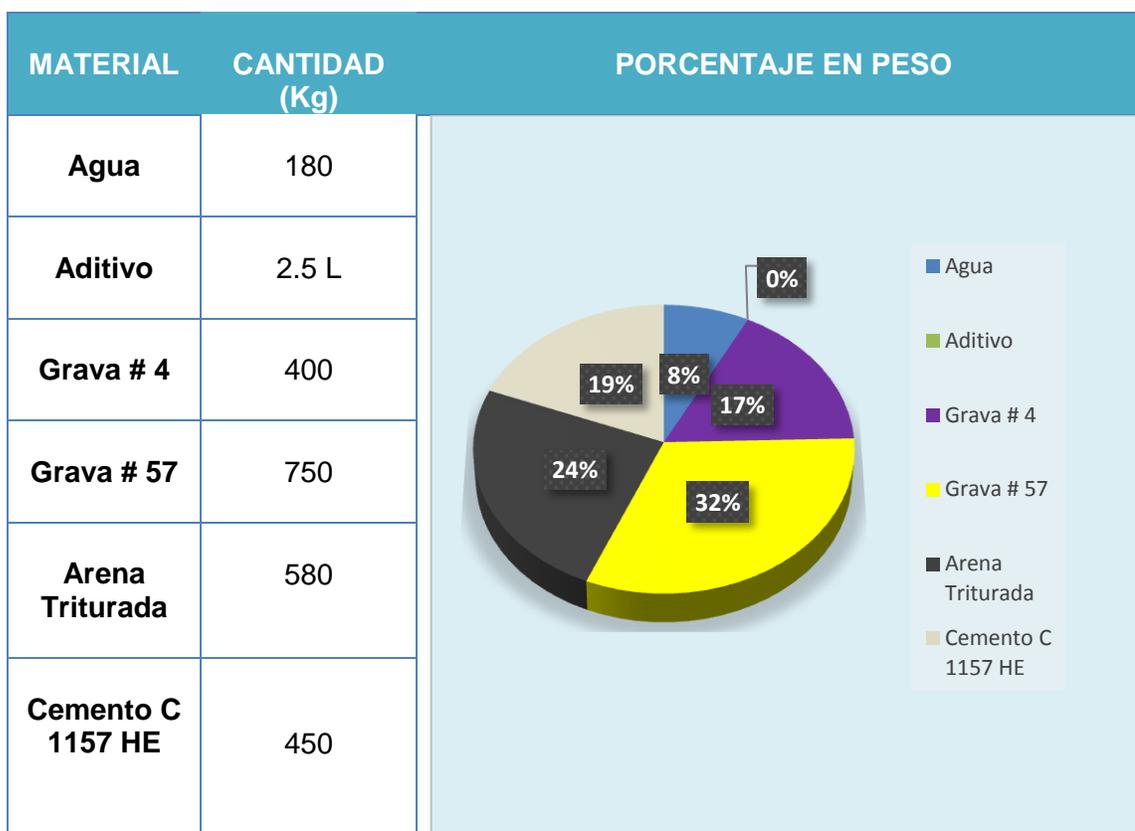


Tabla 5.13: Porcentaje en peso para cada componente de la mezcla para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Diseño de Mezclas HOLCIM.

A continuación se muestra en la Tabla 5.14, la cantidad de agregado y su porcentaje en función de su masa total para un  $M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$

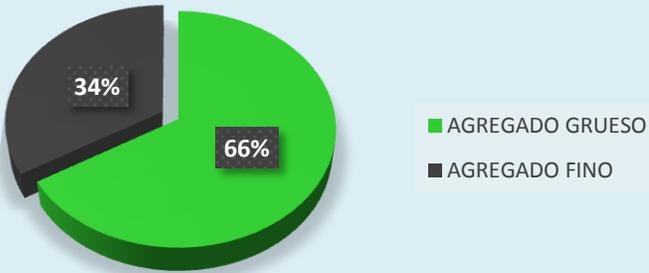
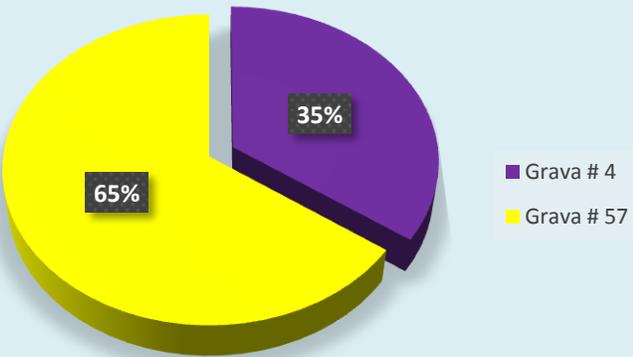
MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	
AGREGADO GRUESO	1150	<p><b>% DE AGREGADO GRUESO Y FINO</b></p>  <p>■ AGREGADO GRUESO ■ AGREGADO FINO</p>
AGREGADO FINO	580	
<p><b>Análisis Granulométrico combinado en función de la masa total del agregado grueso</b></p>		<p><b>% DE AGREGADO GRUESO</b></p>  <p>■ Grava # 4 ■ Grava # 57</p>

Tabla: 5.14: Porcentaje de agregados para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Diseño de Mezclas HOLCIM.

## 5.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA

En la Tabla 5.15 se muestra información de los materiales que componen la mezcla de concreto de acuerdo a los ensayos realizados e información proporcionada.

MATERIAL	IDENTIFICACIÓN	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	ABSORCIÓN
<b>Cemento</b>	C - 1157 HE	3.10	
<b>Agua</b>	Red Publica	1.00	
<b>Agregado Fino</b>	Arena Triturada la cantera	2.60	2.5%
<b>Agregado Grueso 1</b>	No. 67 (3/4" - "La Cantera")	2.60	1.5%
<b>Agregado Grueso 2</b>	No. 4 (1 1/2" - "La Cantera")	2.62	0.70%
<b>Aditivos</b>	RA-1000	1.20	

Tabla: 5.15 Característica de los materiales.  
Fuente: Propia

## 5.5 DISEÑOS TEÓRICOS PRELIMINARES

Debido a que los materiales con los que se contaban no cumplía los requerimientos establecidos en las granulometrías tanto para Fuller como para Shilstone, se procedió a cambiar el diseño de tal manera que si satisfaga los criterios al efectuar el respectivo análisis granulométrico integral, para ello se realizaron los diseños para los Módulos de Ruptura igual a  $37 \text{ Kg/cm}^2$  y  $45 \text{ Kg/cm}^2$  manteniendo constante las relaciones A/C y la masa total del agregado (fino y grueso) de los diseños proporcionados.

Es por ello que antes de comenzar el trabajo de laboratorio se realizaron los diseños teóricos preliminares para asegurarnos de que si se cumplían con las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido.

A continuación, se presentan los diseños para las relaciones  $A/C= 0.50$  y  $A/C= 0.40$  con sus respectivos análisis granulométricos, ambas relaciones para el método de dosificación Fuller (Tabla 5.16 y Grafico 5.4). También se efectúan especímenes de prueba para Shilstone, cuyo detalle se especifica más adelante

Para una relación A/C de 0.50 ( $M_R = 37 \text{ Kg/cm}^2$ ) se tiene:

Tamaño del Agregado		Agregado Fino				Agregado Grueso				% Pasa	(d/D) <sup>e</sup>
		30.0%				70.0%					
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Integral	e = 0.50 D = 38.10
		100%		0%		60%		40%			
		Peso Retenido	% Pasa Acumulado	Peso Retenido	% Pasa Acumulado	Peso Retenido	% Pasa Acumulado	Peso Retenido	% Pasa Acumulado		
2"	50.8	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.00	100.0%	100%	100%
1 1/2"	38.1	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	541.60	96.4%	99%	100%
1"	25.4	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	9039.40	36.5%	82%	82%
3/4"	19.0	0.0	100.0%	0.0	100.0%	38.7	99.2%	4588.10	6.1%	73%	71%
1/2"	12.7	0.0	100.0%	0.0	100.0%	1188.3	75.5%	850.70	0.5%	62%	58%
3/8"	9.51	0.0	100.0%	0.0	0.0%	1188.5	51.7%	50.10	0.1%	52%	50%
N 4	4.76	19.3	94.5%	0.0	0.0%	2449.5	2.7%	20.50	0.0%	29%	35%
N° 8	2.38	72.7	73.7%	0.0	0.0%	88.1	0.9%	0.00	0.0%	23%	25%
N° 16	1.19	96.6	46.2%	0.0	0.0%	15.8	0.6%	0.00	0.0%	14%	18%
N° 30	0.595	68.7	26.5%	0.0	0.0%	8.6	0.5%	0.00	0.0%	8%	12%
N° 50	0.297	44.4	13.9%	0.0	0.0%	6.3	0.3%	0.00	0.0%	4%	9%
N° 100	0.149	24.2	7.0%	0.0	0.0%	6.2	0.2%	0.00	0.0%	2%	6%
Fondo		24.4	0.0%	0.0	0.0%	10.1	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
SUMAS		350.3 gr.		0.0 gr.		5,000.1 gr.		15,090.4 gr.			

Tabla 5.16: Análisis Granulométrico Integral Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

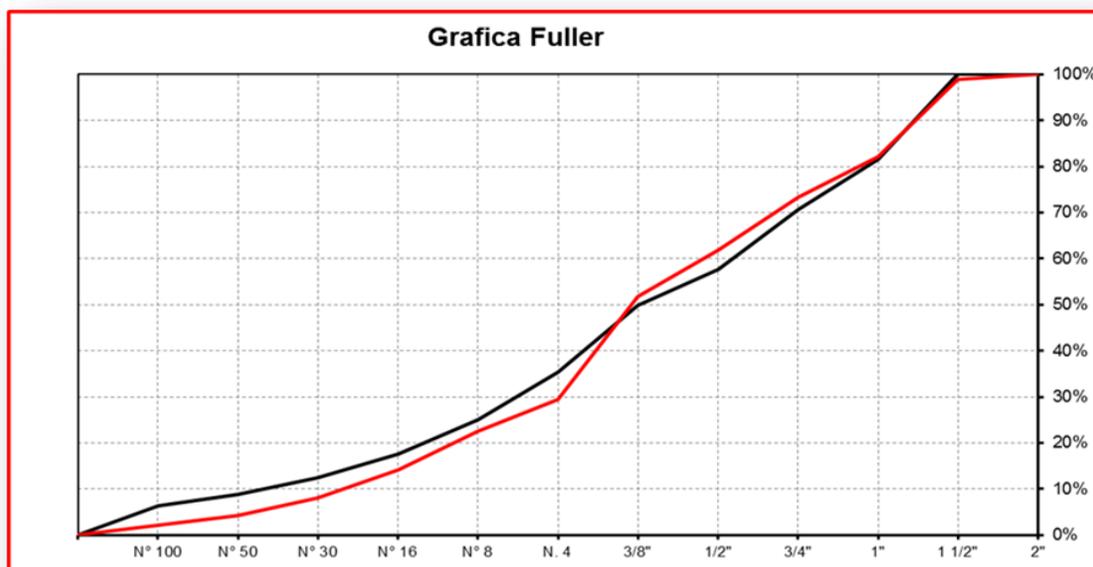


Gráfico 5.1 Curva Fuller para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

En la tabla 5.17, se detalla el proporcionamiento volumétrico de la mezcla de concreto para un metro cubico bajo las recomendaciones anteriormente mencionadas.

Materiales		Consumos	
		kg / m <sup>3</sup>	Litros / m <sup>3</sup>
<b>Cemento</b>		375	121
<b>Agua</b>	A/C = 0.50	185	185
<b>Vacíos</b>	1.0%		10
<b>Agregado Fino</b>	<b>30.0%</b>		
<b>Agregado Fino 1</b>	100.00%	537	208
<b>Agregado Fino 2</b>	0%		
<b>Agregado Grueso</b>	<b>70.0%</b>		
<b>Agregado Grueso 1</b>	60.0%	739	285
<b>Agregado Grueso 2</b>	40.0%	492	189
<b>Aditivo</b>		1.8	1.5
		<b>Σ = 2330</b>	<b>Σ ≅ 1000</b>

Tabla 5.17: Proporcionamiento volumétrico para un m<sup>3</sup> de concreto con una relación A/C = 0.50.  
Fuente: Los Autores.

Para una relación A/C de 0.40 ( $M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$ ) se tiene:

Tamaño del Agregado		Agregado Fino				Agregado Grueso				% Pasa	$(d/D)^e$
		30.0%				70.0%					
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Integral	% Fuller
		100%		0%		60%		40%			
		Peso	% Pasa	Peso	% Pasa	Peso	% Pasa	Peso	% Pasa		
Retenido	Acumulado	Retenido	Acumulado	Retenido	Acumulado	Retenido	Acumulado				
2"	50.8	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.00	100.0%	100%	100%
1 1/2"	38.1	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	541.60	96.4%	99%	100%
1"	25.4	0.0	100.0%	0.0	100.0%	0.0	100.0%	9039.40	36.5%	82%	82%
3/4"	19.0	0.0	100.0%	0.0	100.0%	38.7	99.2%	4588.10	6.1%	73%	71%
1/2"	12.7	0.0	100.0%	0.0	100.0%	1188.3	75.5%	850.70	0.5%	62%	58%
3/8"	9.51	0.0	100.0%	0.0	0.0%	1188.5	51.7%	50.10	0.1%	52%	50%
N 4	4.76	19.3	94.5%	0.0	0.0%	2449.5	2.7%	20.50	0.0%	29%	35%
Nº 8	2.38	72.7	73.7%	0.0	0.0%	88.1	0.9%	0.00	0.0%	23%	25%
Nº 16	1.19	96.6	46.2%	0.0	0.0%	15.8	0.6%	0.00	0.0%	14%	18%
Nº 30	0.595	68.7	26.5%	0.0	0.0%	8.6	0.5%	0.00	0.0%	8%	12%
Nº 50	0.297	44.4	13.9%	0.0	0.0%	6.3	0.3%	0.00	0.0%	4%	9%
Nº 100	0.149	24.2	7.0%	0.0	0.0%	6.2	0.2%	0.00	0.0%	2%	6%
Fondo		24.4	0.0%	0.0	0.0%	10.1	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
SUMAS		350.3 gr.		0.0 gr.		5,000.1 gr.		15,090.4 gr.			

Tabla 5.18: Análisis Granulométrico Integral Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores –HOLCIM

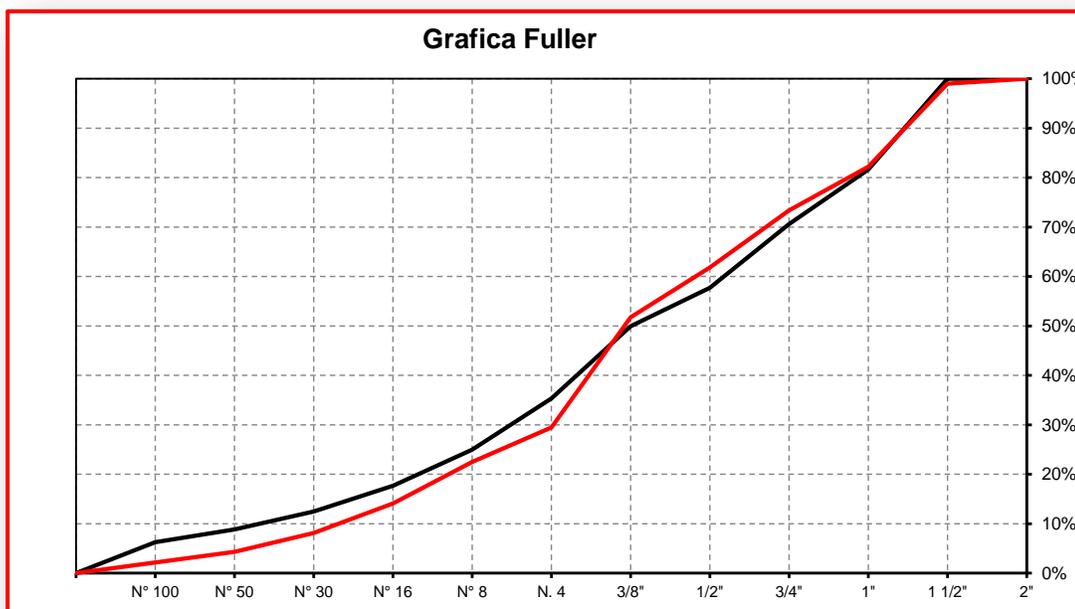


Gráfico 5.2 Curva Fuller para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

Materiales		Consumos	
		kg / m <sup>3</sup>	Litros / m <sup>3</sup>
<b>Cemento</b>		450	145
<b>Agua</b>	A/C = 0.40	180	180
<b>Vacíos</b>	1.0%		10
<b>Agregado Fino</b>	30.0%		
<b>Agregado Fino 1</b>	100.00%	512	196
<b>Agregado Fino 2</b>	0.00%	0	0
<b>Agregado Grueso</b>	70.0%		
<b>Agregado Grueso 1</b>	60.0%	732	281
<b>Agregado Grueso 2</b>	40.0%	488	186
<b>Aditivo</b>		3.0	2.5
		<b>Σ = 2365</b>	<b>Σ ≈ 1000</b>

Tabla 5.19: Proporcionamiento volumétrico para un m<sup>3</sup> de concreto con una relación A/C = 0.40.  
Fuente: Propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el concreto fresco y endurecido, cuyos resultados se muestran en la siguiente unidad se pudo concluir que los diseños presentan una ganancia de resistencia a los siete días de un 80-90%, concluyendo de esta manera que si cumplen y por lo tanto si pueden trabajarse estos proporcionamiento de mezclas en el laboratorio tanto para Fuller y Shilstone.

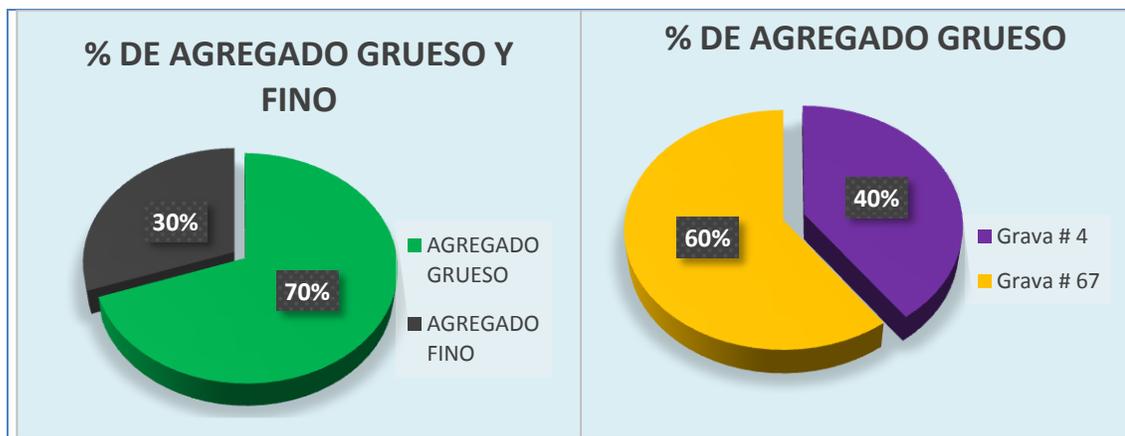


Figura 5.4: Porcentaje en función de la masa total del agregado para Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia.

### Diseños definitivos para un metro cubico de concreto

#### Metodología Fuller.

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

Material	Identificación	Cantidad Final	Unidad
<b>Cemento</b>	C - 1157 HE	<b>375</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	Red Publica	<b>185</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>			
<b>Agregado Fino</b>	Arena Triturada la Cantera	<b>537</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>			
<b>Agregado Grueso 1</b>	No. 67 - (3/4" - "La Cantera")	<b>739</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso 2</b>	No. 4 - (1 1/2" - "La Cantera")	<b>492</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Aditivo</b>	RA- 1000	<b>1.5</b>	Litros/m <sup>3</sup>
<b>Sumas</b>		$\Sigma = 2330$	kg / m <sup>3</sup>

Tabla 5.20: Dosificación Final Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

Material	Identificación	Cantidad Final	Unidad
<b>Cemento</b>	C - 1157 HE	<b>450</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	Red Publica	<b>180</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>			
<b>Agregado Fino 1</b>	Arena Triturada la Cantera	<b>512</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>			
<b>Agregado Grueso 1</b>	No. 67 - (3/4" - "La Cantera")	<b>732</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso 2</b>	No. 4 - (1 1/2" - "La Cantera")	<b>488</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Aditivo</b>	RA- 1000	<b>2.5</b>	Litros/m <sup>3</sup>
<b>Sumas</b>		$\Sigma = 2365$	kg / m <sup>3</sup>

Tabla 5.21: Dosificación Final Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia.

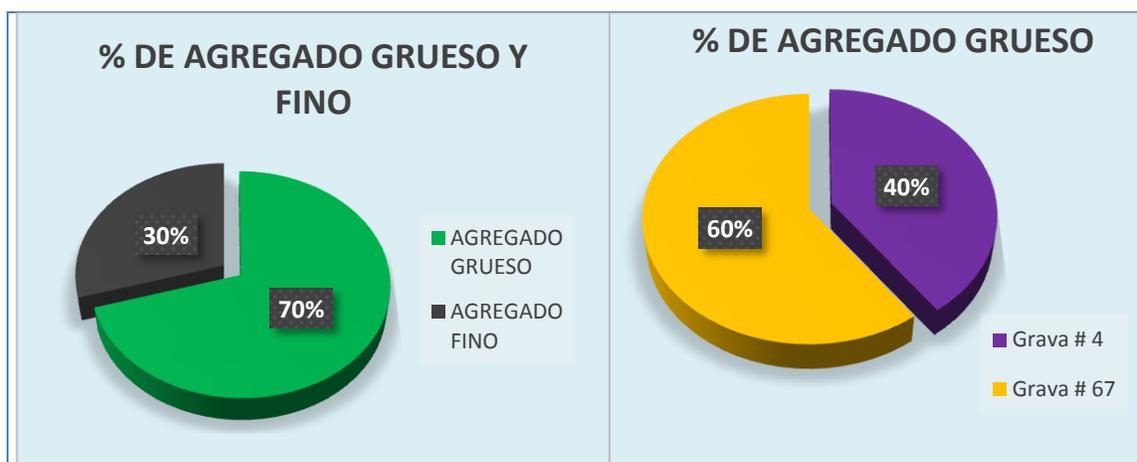


Figura 5.5: Porcentaje en función de la masa total del agregado para Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia.

### Metodología Shilstone.

Manteniendo constante la masa total del agregado con respecto al diseño de la mezcla para Fuller y haciendo el respectivo análisis granulométrico integral para los agregados disponibles con los que se cuenta, de tal manera que cumpla con los requisitos necesarios para obtener una mezcla optima, se obtiene el diseño de la mezcla Shilstone. Tomando en cuenta por supuesto que se utilizaran las mismas relaciones A/C para obtener la resistencia a la Flexión para el cual se diseñó Fuller; es decir si se utilizó una relación igual a 0.50 para un módulo de ruptura igual a  $37 \text{ Kg/cm}^3$ , esta misma relación se aplicará para la dosificación Shilstone.

$$M_R = 37 \text{ Kg/cm}^2$$

	Agregado Fino				Agregado Grueso				Retenido Integral		Retenido Shilstone	
	42.0%				58.0%							
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
	100%	0%	70%	30%								
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado				
2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%
1 1/2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	541.60	3.6%	1%	1%	0%	0%
1"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	9039.40	63.5%	11%	10%	18%	0%
3/4"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	38.7	0.8%	4588.10	93.9%	17%	6%	18%	9%
1/2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	1188.3	24.5%	850.70	99.5%	27%	11%	18%	9%
3/8"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	1188.5	48.3%	50.10	99.9%	37%	10%	18%	9%
N 4	19.3	5.5%	0.0	0.0%	2449.5	97.3%	20.50	100.0%	59%	22%	18%	9%
N° 8	72.7	26.3%	0.0	0.0%	88.1	99.1%	0.00	100.0%	69%	9%	18%	9%
N° 16	96.6	53.8%	0.0	0.0%	15.8	99.4%	0.00	100.0%	80%	12%	18%	9%
N° 30	68.7	73.5%	0.0	0.0%	8.6	99.5%	0.00	100.0%	89%	8%	18%	0%
N° 50	44.4	86.1%	0.0	0.0%	6.3	99.7%	0.00	100.0%	94%	5%	0%	0%
N° 100	24.2	93.0%	0.0	0.0%	6.2	99.8%	0.00	100.0%	97%	3%	0%	0%
Fondo	24.4	100.0%	0.0	0.0%	10.1	100.0%	0.00	100.0%	100%	3%		
SUMAS	350.3 gr.	M.F. = 3.38	0.0 gr.	M.F. = 0.00	5,000.1 gr.		15,090.4 gr.		F.G. = 54	F.T. = 33.9	Cemento =	375 kg/m³

Tabla 5.22: Análisis Granulométrico Integral Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Los Autores-HOLCIM.

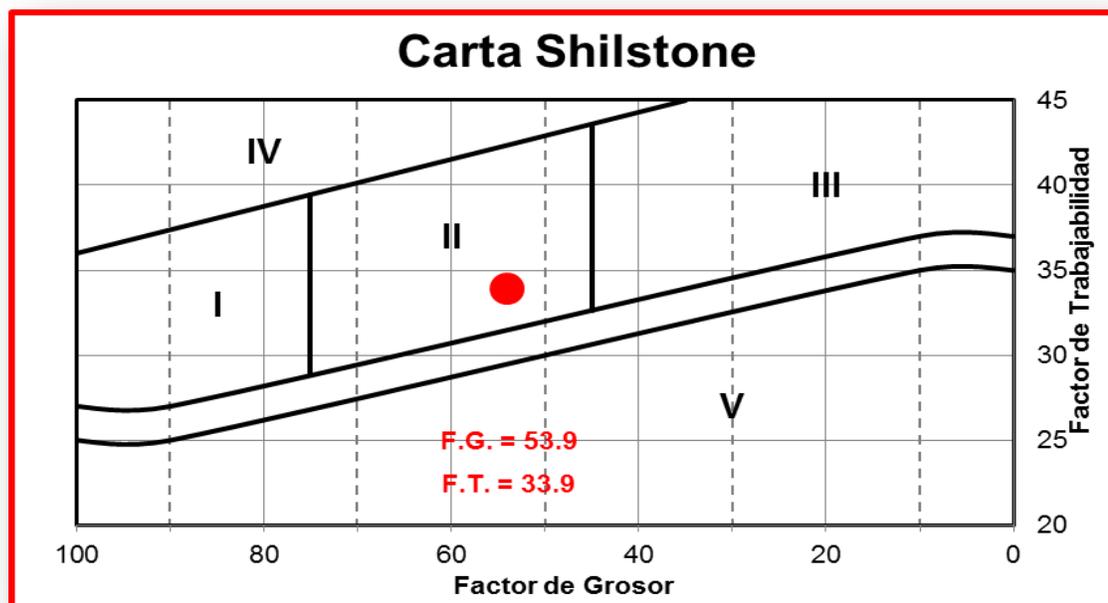


Gráfico 5.3 Carta Shilstone para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Los Autores-HOLCIM.

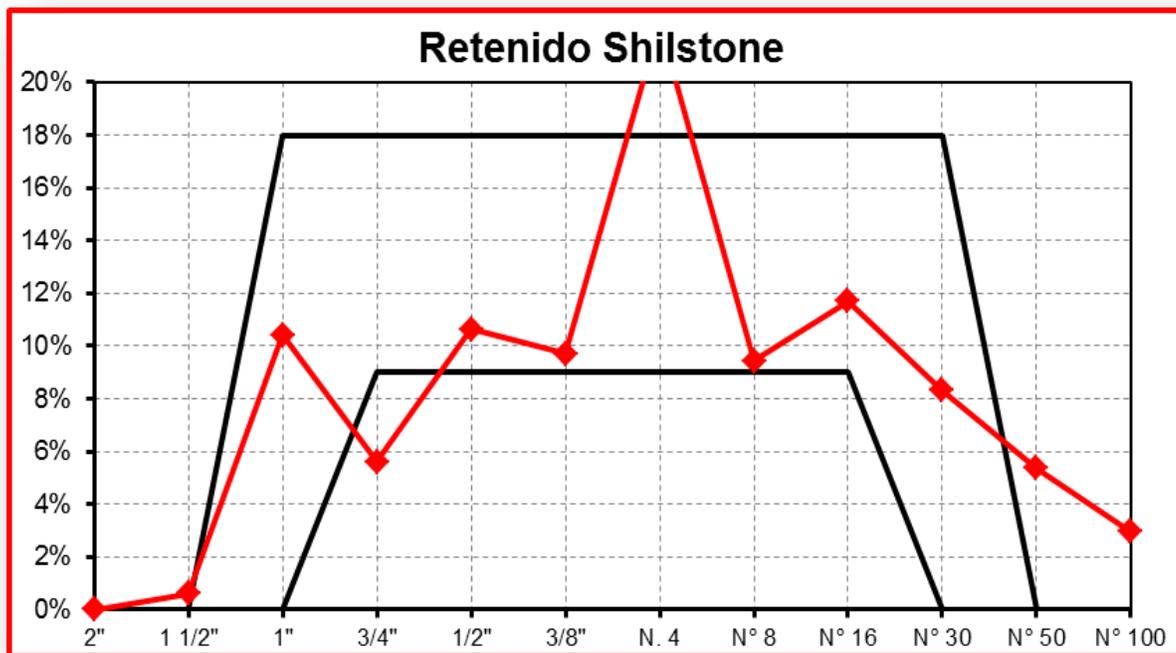


Grafico 5.4: Porcentajes retenidos para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

Material	Identificación	Cantidad Final	Unidad
<b>Cemento</b>	C - 1157 HE	<b>375</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	Red Publica	<b>185</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>			
<b>Agregado Fino 1</b>	Arena Triturada la Cantera	<b>752</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>			
<b>Agregado Grueso 1</b>	No. 67 - (3/4" - "La Cantera")	<b>714</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso 2</b>	No. 4 - (1 1/2" - "La Cantera")	<b>306</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Aditivo</b>	RA- 1000	<b>1.5</b>	Litros/m <sup>3</sup>
<b>Sumas</b>		<b><math>\Sigma = 2334</math></b>	kg / m <sup>3</sup>

Tabla 5.23: Dosificación Final Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia.



Figura 5.6: Porcentaje en función de la masa total de los agregados para Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

	Agregado Fino				Agregado Grueso				Retenido Integral		Retenido Shilstone	
	40.0%				60.0%							
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
	100%	0%	75%	25%								
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado				
2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%
1 1/2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	541.60	3.6%	1%	1%	0%	0%
1"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	9039.40	63.5%	10%	9%	18%	0%
3/4"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	38.7	0.8%	4588.10	93.9%	14%	5%	18%	9%
1/2"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	1188.3	24.5%	850.70	99.5%	26%	12%	18%	9%
3/8"	0.0	0.0%	0.0	0.0%	1188.5	48.3%	50.10	99.9%	37%	11%	18%	9%
N 4	19.3	5.5%	0.0	0.0%	2449.5	97.3%	20.50	100.0%	61%	24%	18%	9%
N° 8	72.7	26.3%	0.0	0.0%	88.1	99.1%	0.00	100.0%	70%	9%	18%	9%
N° 16	96.6	53.8%	0.0	0.0%	15.8	99.4%	0.00	100.0%	81%	11%	18%	9%
N° 30	68.7	73.5%	0.0	0.0%	8.6	99.5%	0.00	100.0%	89%	8%	18%	0%
N° 50	44.4	86.1%	0.0	0.0%	6.3	99.7%	0.00	100.0%	94%	5%	0%	0%
N° 100	24.2	93.0%	0.0	0.0%	6.2	99.8%	0.00	100.0%	97%	3%	0%	0%
Fondo	24.4	100.0%	0.0	0.0%	10.1	100.0%	0.00	100.0%	100%	3%		
SUMAS	350.3 gr.	M.F. = 3.38	0.0 gr.	M.F. = 0.00	5,000.1 gr.		15,090.4 gr.		FG. = 52	F.T. = 35.9	Cemento =	450 kg/m³

Tabla 5.24: Análisis Granulométrico Integral Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Los Autores-HOLCIM.

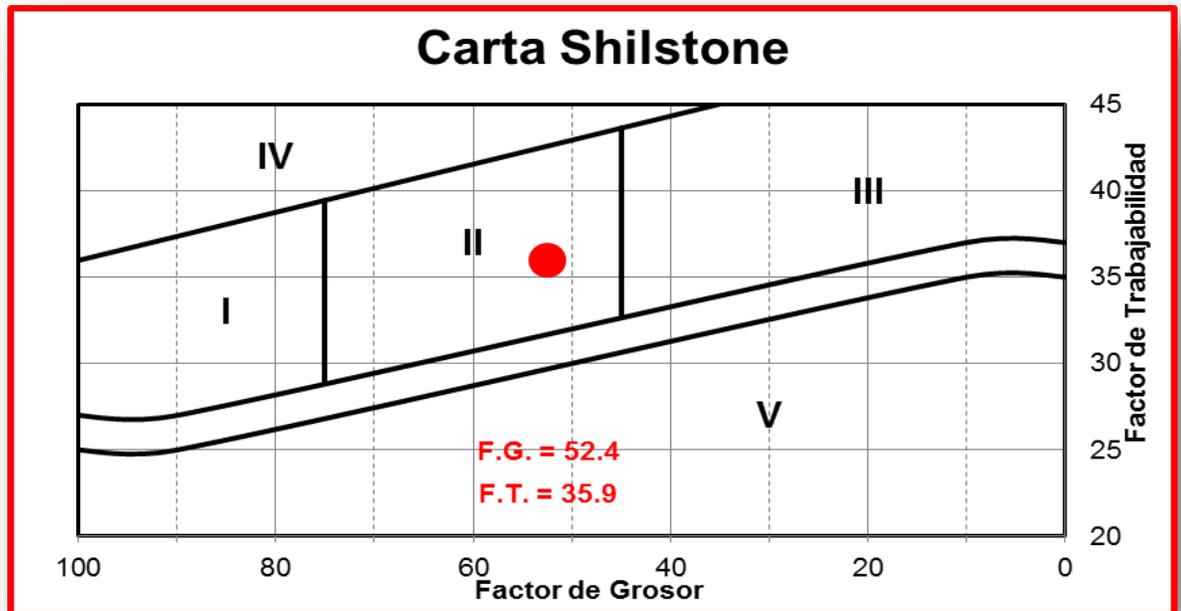


Grafico 5.5: Carta Shilstone para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

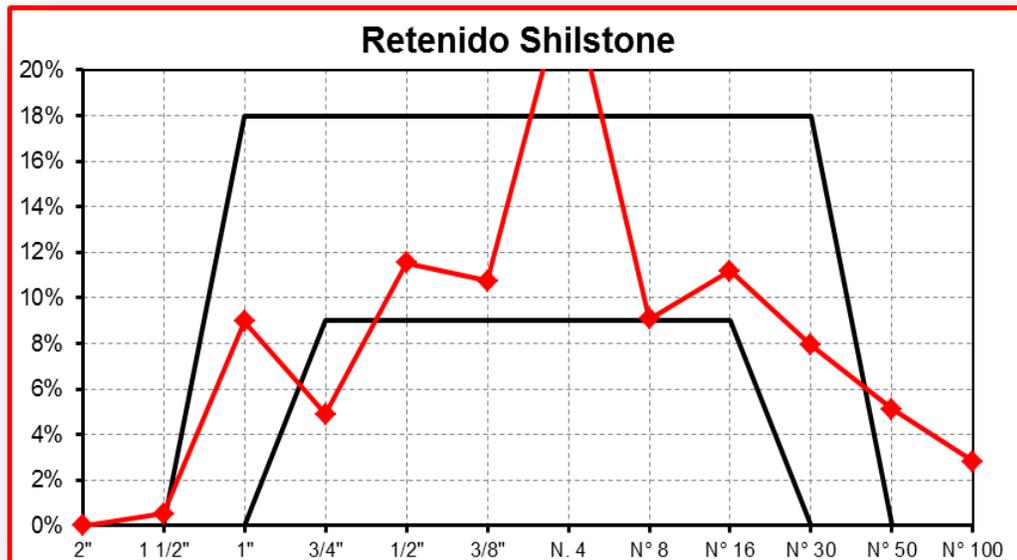


Grafico 5.6: Porcentajes retenidos para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores-HOLCIM.

Material	Identificación	Cantidad Final	Unidad
<b>Cemento</b>	C - 1157 HE	<b>450</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	Red Publica	<b>180</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>			
<b>Agregado Fino 1</b>	Arena Triturada la Cantera	<b>682</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>			
<b>Agregado Grueso 1</b>	No. 67 - (3/4" - "La Cantera")	<b>785</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso 2</b>	No. 4 - (1 1/2" - "La Cantera")	<b>262</b>	kg / m <sup>3</sup>
<b>Aditivo.</b>	RA- 1000	<b>2.5</b>	Litros/m <sup>3</sup>
<b>Sumas</b>		<b>Σ = 2362</b>	kg / m <sup>3</sup>

Tabla 5.25: Dosificación Final Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores.

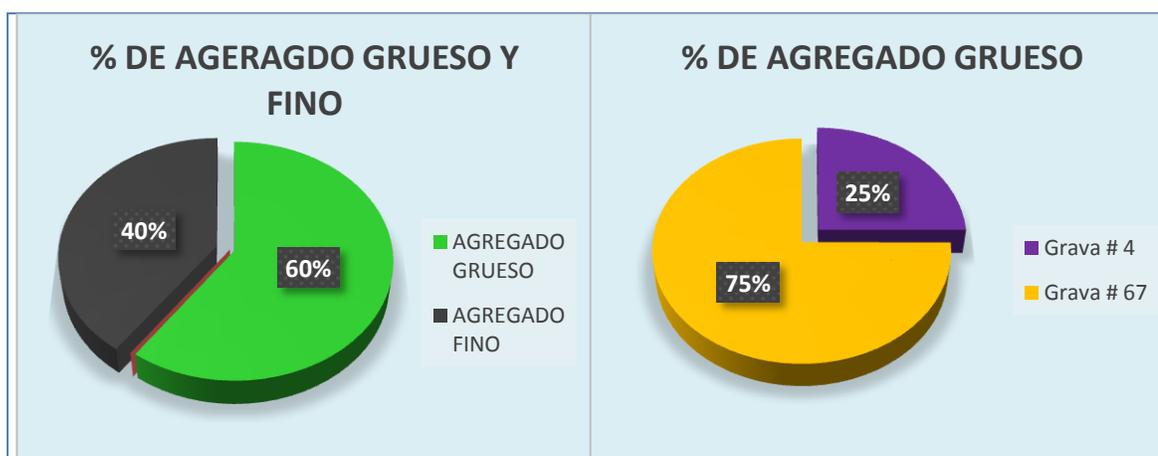


Figura 5.7: Porcentaje en función de la masa total del agregado para Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .

Fuente: Propia.

## 5.6 REPRODUCCIÓN DE MEZCLAS DE LABORATORIO.

A continuación se presentan los diseños que se reprodujeron en el laboratorio para desarrollar 16 viguetas y 12 cilindros por edad.

### HECHURA DE ESPECÍMENES A LA EDAD DE 28 DIAS

#### Metodología Fuller.

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup>, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	22.2 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	64.4 kg
<b>Grava # 4</b>	59.1 kg
<b>Grava # 67</b>	88.7 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.26: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

#### Ajustes por humedad y absorción

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	933.8	1141.6	430.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	921.0	1137.9	413.2
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	12.80	3.70	16.80
<b>Peso de muestra seco</b>	813.9	1020.4	321.2
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>	<b>5.2</b>

Tabla 5.27: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

## Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $64.4 \left( \frac{5.2-2.5}{100} \right) = + 1.76$
<b>Grava #4</b> = $59.1 \left( \frac{0.4-0.7}{100} \right) = - 0.20$
<b>Grava #67</b> = $88.7 \left( \frac{1.6-1.5}{100} \right) = + 0.06$
<b>TOTAL</b> = + 1.62

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	20.6 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	64.4 kg
<b>Grava # 4</b>	59.1 kg
<b>Grava # 67</b>	88.7 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.28: Proporcionamiento corregidos por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.8 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	43.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.4kg
<b>Grava # 67</b>	59.1 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.29: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	820.2	1045.8	529.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	811.6	1043.1	508.7
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	8.60	2.70	20.30
<b>Peso de muestra seco</b>	704.5	925.6	416.7
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.2</b>	<b>0.3</b>	<b>4.9</b>

Tabla 5.30: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>43.0\left(\frac{4.9-2.5}{100}\right)= + 1.03</math></b>
<b>Grava #4= <math>39.4\left(\frac{0.3-0.7}{100}\right)= - 0.16</math></b>
<b>Grava #67= <math>59.1\left(\frac{1.2-1.5}{100}\right)= - 0.18</math></b>
<b>TOTAL= + 0.69</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.11 kg
<b>Aditivo</b>	0.12 L
<b>Arena Triturada</b>	43.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.4kg
<b>Grava # 67</b>	59.1 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.31: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup> para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	21.6 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	61.4 kg
<b>Grava # 4</b>	58.6 kg
<b>Grava # 67</b>	87.8 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.32: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

#### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	933.8	1141.6	430.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	921.0	1137.9	413.2
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	12.80	3.70	16.80
<b>Peso de muestra seco</b>	813.9	1020.4	321.2
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>	<b>5.2</b>

Tabla 5.33: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $61.4 \left( \frac{5.2-2.5}{100} \right) = + 1.67$
<b>Grava #4</b> = $58.6 \left( \frac{0.4-0.7}{100} \right) = - 0.20$
<b>Grava #67</b> = $87.8 \left( \frac{1.6-1.5}{100} \right) = + 0.06$
<b>TOTAL</b> = + 1.53

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	20.1 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	61.4 kg
<b>Grava # 4</b>	58.6 kg
<b>Grava # 67</b>	87.8 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.34: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup> para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	11.23 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	41.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.1 kg
<b>Grava # 67</b>	58.6kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.35: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	820.2	1045.8	529.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	811.6	1043.1	508.7
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	8.60	2.70	20.30
<b>Peso de muestra seco</b>	704.5	925.6	416.7
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.2</b>	<b>0.3</b>	<b>4.9</b>

Tabla 5.36: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $41.0\left(\frac{4.9-2.5}{100}\right)$ = + 0.98
<b>Grava #4</b> = $39.1\left(\frac{0.3-0.7}{100}\right)$ = - 0.16
<b>Grava #67</b> = $58.6\left(\frac{1.2-1.5}{100}\right)$ = - 0.18
<b>TOTAL</b> = + 0.64

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	10.59 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	41.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.1 kg
<b>Grava # 67</b>	58.6kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.37: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

### Metodología Shilstone.

$$M_R = 37 \text{ Kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m³, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	22.20 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	90.2kg
<b>Grava # 4</b>	36.7 kg
<b>Grava # 67</b>	85.8 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.38: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	933.8	1141.6	430.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	921.0	1137.9	413.2
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	12.80	3.70	16.80
<b>Peso de muestra seco</b>	813.9	1020.4	321.2
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>	<b>5.2</b>

Tabla 5.39: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>90.2\left(\frac{5.2-2.5}{100}\right)= + 2.46</math></b>
<b>Grava #4= <math>36.7\left(\frac{0.4-0.7}{100}\right)= - 0.12</math></b>
<b>Grava #67= <math>85.8\left(\frac{1.6-1.5}{100}\right)= + 0.06</math></b>
<b>TOTAL= + 2.40</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	19.80 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	90.2kg
<b>Grava # 4</b>	36.7 kg
<b>Grava # 67</b>	85.8 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.40: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.8 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	60.2 kg
<b>Grava # 4</b>	24.5 kg
<b>Grava # 67</b>	57.2 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.41: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	A	N° 36	N° 43
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	867.7	1138.5	705.8
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	863.0	1131.3	671.0
<b>Tara</b>	92.0	107.1	117.5
<b>Peso de agua</b>	4.70	7.20	34.80
<b>Peso de muestra seco</b>	771.0	1024.2	553.5
<b>Contenido de agua %</b>	0.6	0.7	6.3

Tabla 5.42: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>60.2 \left( \frac{0.6-2.5}{100} \right) = + 2.30</math></b>
<b>Grava #4= <math>24.5 \left( \frac{0.7-0.7}{100} \right) = 0.0</math></b>
<b>Grava #67= <math>57.2 \left( \frac{6.3-1.5}{100} \right) = - 0.5</math></b>
<b>TOTAL= + 1.80</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	13.1 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	60.2 kg
<b>Grava # 4</b>	24.5 kg
<b>Grava # 67</b>	57.2 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.43: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup>, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	21.60 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	81.8 kg
<b>Grava # 4</b>	31.4 kg
<b>Grava # 67</b>	94.2 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.44 Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	933.8	1141.6	430.0
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	921.0	1137.9	413.2
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	12.80	3.70	16.80
<b>Peso de muestra seco</b>	813.9	1020.4	321.2
<b>Contenido de agua %</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>	<b>5.2</b>

Tabla 5.45: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.

Fuente: Propia.

## Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $81.8\left(\frac{5.2-2.5}{100}\right)= + 2.21$
<b>Grava #4</b> = $31.4\left(\frac{0.4-0.7}{100}\right)= - 0.10$
<b>Grava #67</b> = $94.2\left(\frac{1.6-1.5}{100}\right)= + 0.09$
<b>TOTAL</b> = + 2.20

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	19.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	81.8 kg
<b>Grava # 4</b>	31.4 kg
<b>Grava # 67</b>	94.2 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.46: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.2 L
<b>Arena Triturada</b>	54.6 kg
<b>Grava # 4</b>	21.0 kg
<b>Grava # 67</b>	62.8 kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.47: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	815.0	1209.5	568.5
<b>Peso de muestra seca y tara</b>	813.4	1206.2	545.4
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	1.60	3.30	23.10
<b>Peso de muestra seco</b>	706.3	1088.7	453.4
<b>Contenido de agua %</b>	0.2	0.3	5.1

Tabla 5.48: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.

Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $54.6\left(\frac{5.1-2.5}{100}\right) = + 1.42$
<b>Grava #4</b> = $21.0\left(\frac{0.3-0.7}{100}\right) = - 0.08$
<b>Grava #67</b> = $62.8\left(\frac{0.2-1.5}{100}\right) = - 0.80$
<b>TOTAL</b> = + 2.14

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	13.82 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	54.6 kg
<b>Grava # 4</b>	21.0 kg
<b>Grava # 67</b>	62.8 kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.49: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia

## HECHURA DE ESPECIMENES A LA EDAD DE 7 DIAS

### Metodología Fuller.

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup>, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	22.2 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	64.4 kg
<b>Grava # 4</b>	59.1 kg
<b>Grava # 67</b>	88.7 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.50: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	1112.8	1314.0	557.4
<b>Peso de muestra seca y tara</b>	1074.8	1304.1	528.5
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	38.00	9.90	28.90
<b>Peso de muestra seco</b>	967.7	1186.6	436.5
<b>Contenido de agua %</b>	3.9	0.8	6.6

Tabla 5.51: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

### Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>64.4\left(\frac{6.6-2.5}{100}\right)= + 2.65</math></b>
<b>Grava #4= <math>59.04\left(\frac{0.8-0.7}{100}\right)= + 0.08</math></b>
<b>Grava #67= <math>88.68\left(\frac{3.9-1.5}{100}\right)= + 2.15</math></b>
<b>TOTAL= + 4.88</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	17.32 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	64.4 kg
<b>Grava # 4</b>	59.1 kg
<b>Grava # 67</b>	88.7 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.52: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.8 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	43.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.4kg
<b>Grava # 67</b>	59.1 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.53: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	A	N° 36	N° 43
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	867.7	1138.5	705.8
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	863.0	1131.3	671.0
<b>Tara</b>	92.0	107.1	117.5
<b>Peso de agua</b>	4.70	7.20	34.80
<b>Peso de muestra seco</b>	771.0	1024.2	553.5
<b>Contenido de agua %</b>	0.6	0.7	6.3

Tabla 5.54: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>43.0\left(\frac{0.6-2.5}{100}\right)= + 0.80</math></b>
<b>Grava #4= <math>39.4\left(\frac{0.7-0.7}{100}\right)= 0.0</math></b>
<b>Grava #67= <math>59.1\left(\frac{6.3-1.5}{100}\right)= + 2.82</math></b>
<b>TOTAL= + 3.62</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	11.2 kg
<b>Aditivo</b>	0.12 L
<b>Arena Triturada</b>	kg
<b>Grava # 4</b>	39.4 kg
<b>Grava # 67</b>	59.1 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.55: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup> para 8 viguetas.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	21.6 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	61.4 kg
<b>Grava # 4</b>	58.6 kg
<b>Grava # 67</b>	87.8 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.56: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	N° 36	N° 43	A
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	1112.8	1314.0	557.4
<b>Peso de muestra seca y tara</b>	1074.8	1304.1	528.5
<b>Tara</b>	107.1	117.5	92.0
<b>Peso de agua</b>	38.00	9.90	28.90
<b>Peso de muestra seco</b>	967.7	1186.6	436.5
<b>Contenido de agua %</b>	3.9	0.8	6.6

Tabla 5.57: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

## Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $61.4\left(\frac{6.6-2.5}{100}\right)= + 2.51$
<b>Grava #4</b> = $58.60\left(\frac{0.8-0.7}{100}\right)= + 0.08$
<b>Grava #67</b> = $87.8\left(\frac{3.9-1.5}{100}\right)= + 2.11$
<b>TOTAL</b> = + 4.70

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	16.9 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	61.4 kg
<b>Grava # 4</b>	58.6 kg
<b>Grava # 67</b>	87.8 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.58: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup> para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	41.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.1 kg
<b>Grava # 67</b>	58.6kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.59: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	A	N° 36	N° 43
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	867.7	1138.5	705.8
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	863.0	1131.3	671.0
<b>Tara</b>	92.0	107.1	117.5
<b>Peso de agua</b>	4.70	7.20	34.80
<b>Peso de muestra seco</b>	771.0	1024.2	553.5
<b>Contenido de agua %</b>	0.6	0.7	6.3

Tabla 5.60: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>41.0\left(\frac{0.6-2.5}{100}\right)= + 1.60</math></b>
<b>Grava #4= <math>39.1\left(\frac{0.7-0.7}{100}\right)= 0.0</math></b>
<b>Grava #67= <math>58.6\left(\frac{6.3-1.5}{100}\right)= - 0.60</math></b>
<b>TOTAL= + 1.00</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	13.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	41.0 kg
<b>Grava # 4</b>	39.1 kg
<b>Grava # 67</b>	58.6kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.61: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

## Metodología Shilstone.

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup>, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
Agua	22.20 kg
Aditivo	0.18 L
Arena Triturada	90.2kg
Grava # 4	36.7 kg
Grava # 67	85.8 kg
Cemento	45 kg

Tabla 5.62: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
Ensayo No.	1	2	3
Recipiente No.	N° 36	N° 43	A
Peso de muestra húmedo y tara	1112.8	1314.0	557.4
Peso de muestra seca y tara	1074.8	1304.1	528.5
Tara	107.1	117.5	92.0
Peso de agua	38.00	9.90	28.90
Peso de muestra seco	967.7	1186.6	436.5
Contenido de agua %	3.9	0.8	6.6

Tabla 5.63: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

## Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $90.2\left(\frac{6.6-2.5}{100}\right)= + 3.70$
<b>Grava #4</b> = $36.7\left(\frac{0.8-0.7}{100}\right)= + 0.04$
<b>Grava #67</b> = $85.8\left(\frac{3.9-1.5}{100}\right)= + 2.06$
<b>TOTAL</b> = + 5.80

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	16.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.18 L
<b>Arena Triturada</b>	90.2kg
<b>Grava # 4</b>	36.7 kg
<b>Grava # 67</b>	85.8 kg
<b>Cemento</b>	45 kg

Tabla 5.64: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.8 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	60.2 kg
<b>Grava # 4</b>	24.5 kg
<b>Grava # 67</b>	57.2 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.65: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	A	N° 36	N° 43
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	867.7	1138.5	705.8
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	863.0	1131.3	671.0
<b>Tara</b>	92.0	107.1	117.5
<b>Peso de agua</b>	4.70	7.20	34.80
<b>Peso de muestra seco</b>	771.0	1024.2	553.5
<b>Contenido de agua %</b>	0.6	0.7	6.3

Tabla 5.66: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>60.2\left(\frac{0.6-2.5}{100}\right)= + 2.30</math></b>
<b>Grava #4= <math>24.5\left(\frac{0.7-0.7}{100}\right)= 0.0</math></b>
<b>Grava #67= <math>57.2\left(\frac{6.3-1.5}{100}\right)= - 0.5</math></b>
<b>TOTAL= + 1.80</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	13.1 kg
<b>Aditivo</b>	0.12L
<b>Arena Triturada</b>	60.2 kg
<b>Grava # 4</b>	24.5 kg
<b>Grava # 67</b>	57.2 kg
<b>Cemento</b>	30 kg

Tabla 5.67: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

$$M_R = 45 \text{ Kg/cm}^2$$

Volumen a producir: 0.12 m<sup>3</sup>, para 8 viguetas.

Material	Cantidad
Agua	21.60 kg
Aditivo	0.3 L
Arena Triturada	81.8 kg
Grava # 4	31.4 kg
Grava # 67	94.2 kg
Cemento	54 kg

Tabla 5.68: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

#### Ajustes por humedad y absorción.

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
Ensayo No.	1	2	3
Recipiente No.	N° 36	N° 43	A
Peso de muestra húmedo y tara	1112.8	1314.0	557.4
Peso de muestra seca y tara	1074.8	1304.1	528.5
Tara	107.1	117.5	92.0
Peso de agua	38.00	9.90	28.90
Peso de muestra seco	967.7	1186.6	436.5
Contenido de agua %	3.9	0.8	6.6

Tabla 5.69: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena= <math>81.8\left(\frac{6.6-2.5}{100}\right)= + 3.35</math></b>
<b>Grava #4= <math>31.4\left(\frac{0.8-0.7}{100}\right)= + 0.03</math></b>
<b>Grava #67= <math>94.2\left(\frac{3.9-1.5}{100}\right)= + 2.26</math></b>
<b>TOTAL= + 5.64</b>

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	15.96 kg
<b>Aditivo</b>	0.3 L
<b>Arena Triturada</b>	81.8 kg
<b>Grava # 4</b>	31.4 kg
<b>Grava # 67</b>	94.2 kg
<b>Cemento</b>	54 kg

Tabla 5.70: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

Volumen a producir: 0.080 m<sup>3</sup>, para 12 cilindros.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	14.40 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	54.6 kg
<b>Grava # 4</b>	21.0 kg
<b>Grava # 67</b>	62.8 kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.71: Proporcionamiento sin correcciones por humedad y absorción.  
Fuente: Propia.

### Ajustes por humedad y absorción

	Grava # 67	Grava # 4	Arena
<b>Ensayo No.</b>	1	2	3
<b>Recipiente No.</b>	A	N° 36	N° 43
<b>Peso de muestra húmedo y tara</b>	867.7	1138.5	705.8
<b>Peso de muestra seco y tara</b>	863.0	1131.3	671.0
<b>Tara</b>	92.0	107.1	117.5
<b>Peso de agua</b>	4.70	7.20	34.80
<b>Peso de muestra seco</b>	771.0	1024.2	553.5
<b>Contenido de agua %</b>	0.6	0.7	6.3

Tabla 5.72: Contenido de humedad para agregados grueso y fino.  
Fuente: Propia.

## Correcciones por humedad y absorción

<b>Arena</b> = $54.6\left(\frac{6.3-2.5}{100}\right)= + 2.07$
<b>Grava #4</b> = $21.0\left(\frac{0.7-0.7}{100}\right)= 0.0$
<b>Grava #67</b> = $62.8\left(\frac{0.6-1.5}{100}\right)= -0.57$
<b>TOTAL</b> = + 1.50

Fuente: Propia.

Material	Cantidad
<b>Agua</b>	12.90 kg
<b>Aditivo</b>	0.2L
<b>Arena Triturada</b>	54.6 kg
<b>Grava # 4</b>	21.0 kg
<b>Grava # 67</b>	62.8 kg
<b>Cemento</b>	36 kg

Tabla 5.73: Proporcionamiento corregido por humedad y absorción.

Fuente: Propia.

# **CAPÍTULO VI**

## **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

## 6.1 GENERALIDADES

En el análisis de resultados, sobre todo la interpretación de cada uno de los valores obtenidos en los ensayos realizados a las mezclas de concreto Hidráulico bajo la granulometría Fuller y Shilstone ayudara a realizar conclusiones con respecto a la investigación y verificar si los objetivos planteados se cumplieron.

Para realizar el análisis e interpretación respectivos se presenta cada uno de los resultados obtenidos en el comportamiento de la mezcla de concreto Hidráulico en estado fresco y en estado endurecido respectivamente, en total se ensayaron 128 Viguetas y 96 cilindros es importante recalcar que se desecharon 5 especímenes ya que estos no cumplían con los requisitos de calidad para ser tomados en cuenta (4 cilindros y 1 vigueta).

Es a través de los resultados a los ensayos, tablas de datos y gráficos que se observara el comportamiento de las mezclas y a partir de estos elementos trazar un punto de partida para generar las respectivas conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## 6.2 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Para determinar el comportamiento de la mezcla en estado fresco recién mezclado en condiciones de laboratorio, procurando mantener un estricto control de todos los materiales del concreto; se estudiaron las siguientes propiedades: revenimiento (ASTM C 143), temperatura (ASTM C 1064) y peso volumétrico del concreto fresco (ASTM C 138), estos ensayos fueron determinados en cada una de las bachadas que se realizaron.

El concreto en estado fresco debe satisfacer algunos requisitos, estos se muestran en la Tabla 6.1 que a continuación se presenta:

Pruebas de Laboratorio	Requisitos
<b>Revenimiento</b>	3.0 ± 1.0 Pulgadas, utilizando Aditivo (Según ASTM C 94), <i>Apartado 6</i>
<b>Temperatura</b>	32 °C (Según ASTM C 94 <i>Apartado 11</i> , ACI 305)
<b>Peso Volumétrico</b>	Variación máxima entre diferentes ensayos del mismo proporcionamiento de 16 kg/m <sup>3</sup> (Según ASTM C 94), <i>Apartados 15-16</i>

Tabla 6.1: Requerimientos de pruebas de laboratorio al concreto fresco.

Fuente: Propias.

### 6.2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DEL REVENIMIENTO

Los resultados obtenidos al medir el revenimiento para cada metodología de dosificación según la edad de prueba, se presentan en las tablas N° 6.1 y 6.2 están conforme a los requisitos establecidos anteriormente. Mediante estos valores se ha determinado que cada mezcla posee una trabajabilidad adecuada y el aditivo que se utiliza de acuerdo a las características; funciona como plastificante, mejorando de manera importante la facilidad en el acabado en todas las mezclas; además mediante la realización del ensayo de Revenimiento (ASTM C 143) se ha comprobado; a través de la observación de la deformación del cono, que la cohesión de cada una de las mezclas es la adecuada ya que las mezclas no presentaron segregación (Figura 6.1). El resultado promedio de todos los ensayos en esta investigación es de un revenimiento igual a 3.0" (Ver Tabla 6.3).



Figura 6.1: Ensayo de Revenimiento.  
Fuente: Los Autores.

**RESULTADOS DE ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO  
SEGÚN METODOLOGÍA DE DOSIFICACIÓN Y EDAD.**

**REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 28 DIAS.**

<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 24/Julio/2013- 26/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	3.5"	3.0"
<b>Bachada 2</b>	3.0"	
<b>Bachada 3</b>	3.0"	
<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 25/Julio/2013- 29/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	4.0"	3.5"
<b>Bachada 2</b>	3.5"	
<b>Bachada 3</b>	3.0"	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 26/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	4.0"	3.5"
<b>Bachada 2</b>	3.5"	
<b>Bachada 3</b>	3.0"	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 29/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	4.0"	4.0"
<b>Bachada 2</b>	4.0"	
<b>Bachada 3</b>	3.5"	

Tabla 6.2: Resultados de prueba de revenimiento para 28 días.  
Fuente: Propia

### REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 7 DIAS.

Metodología de dosificación Fuller.		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 7/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
Bachada 1	3.0"	3.0"
Bachada 2	3.0"	
Bachada 3	2.5"	
Metodología de dosificación Fuller.		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 8/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
Bachada 1	3.5"	3.0"
Bachada 2	3.5"	
Bachada 3	3.0"	
Metodología de dosificación Shilstone.		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 9/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
Bachada 1	3.5"	3.0"
Bachada 2	3.5"	
Bachada 3	3.0"	
Metodología de dosificación Shilstone.		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 12/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
Bachada 1	3.5"	3.0"
Bachada 2	3.5"	
Bachada 3	2.5"	

Tabla 6.3: Resultados de prueba de revenimiento para 7 días.

Fuente: Propia

## RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE REVENIMIENTO.

Resultados de prueba de revenimiento				
Fecha de ensayo	N° de Bachada	Tipo de Espécimen para el cual se preparó la mezcla de concreto	Edad (Días)	Valor de Revenimiento (Pulgadas)
24 de Julio de 2013	1	Prismático	28	3.5
	2	Prismático	28	3.0
25 de julio de 2013	1	Prismático	28	4.0
	2	Prismático	28	3.5
26 de Julio de 2013	1	Prismático	28	4.0
	2	Prismático	28	3.5
	3	Cilíndrico	28	3.0
29 de Julio de 2013	1	Prismático	28	4.0
	2	Prismático	28	4.0
	3	Cilíndrico	28	3.0
30 de Julio de 2013	1	Cilíndrico	28	3.0
	2	Cilíndrico	28	3.5
07 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	3.0
	2	Prismático	7	3.0
	3	Cilíndrico	7	2.5
08 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	3.5
	2	Prismático	7	3.5
	3	Cilíndrico	7	3.0
09 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	3.5
	2	Prismático	7	3.5
	3	Cilíndrico	7	3.0
12 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	2.5
	2	Prismático	7	3.0
	3	Cilíndrico	7	3.0
<b>PROMEDIO</b>				<b>3.0</b>

Tabla 6.4: Resumen de resultados ensayo de revenimiento.

Fuente: Propia

### **6.2.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA**

Se consideró importante el parámetro de la temperatura para el estudio del control de calidad para la mezcla de concreto en laboratorio, debido a la importante influencia que este presenta sobre sus propiedades en estado fresco. Por otro lado 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 (Figura N°6.2) y están dentro del margen de la temperatura máxima recomendada; esta se mantuvo en rangos desde 29 °C hasta una temperatura máxima registrada de 32°C, los resultados del ensayo para cada metodología de dosificación según la edad de prueba, se presentan en las Tablas 6.4 y 6.5 resultando un promedio de 31 °C (Ver Tabla N° 6.6). Considerando que la mezcla se llevó a cabo en las horas diurnas (8:00 a.m. – 4:00 p.m.) puede señalarse que la mezcla no presento grandes variaciones por factores ambientales.



Figura 6.2: Ensayo de Temperatura.  
Fuente: Los Autores.

**RESULTADOS DE ENSAYO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO  
SEGÚN METODOLOGÍA DE DOSIFICACION Y EDAD.**

**TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 28 DIAS.**

<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 24/Julio/2013- 26/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	30 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	
<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 25/Julio/2013- 29/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	30 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	32 °C	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 26/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	30 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 29/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	31 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	32 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	

Tabla 6.5: Resultados de prueba de temperatura para 28 días.

Fuente: Propia

### TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 7 DIAS.

<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 7/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	30 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	
<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 8/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	31 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 9/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	30 °C	31 °C
<b>Bachada 2</b>	31 °C	
<b>Bachada 3</b>	32 °C	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 12/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	29 °C	30 °C
<b>Bachada 2</b>	30 °C	
<b>Bachada 3</b>	31 °C	

Tabla 6.6: Resultados de prueba de Temperatura para 7 días.

Fuente: Propia

## RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA

Resultados de prueba de revenimiento				
Fecha de ensayo	N° de Bachada	Tipo de Espécimen para el cual se preparó la mezcla de concreto	Edad (Días)	Temperatura °C
24 de Julio de 2013	1	Prismático	28	30
	2	Prismático	28	31
25 de julio de 2013	1	Prismático	28	30
	2	Prismático	28	31
26 de Julio de 2013	1	Prismático	28	30
	2	Prismático	28	31
	3	Cilíndrico	28	31
29 de Julio de 2013	1	Prismático	28	31
	2	Prismático	28	32
	3	Cilíndrico	28	32
30 de Julio de 2013	1	Cilíndrico	28	31
	2	Cilíndrico	28	31
07 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	30
	2	Prismático	7	31
	3	Cilíndrico	7	31
08 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	31
	2	Prismático	7	31
	3	Cilíndrico	7	31
09 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	30
	2	Prismático	7	31
	3	Cilíndrico	7	32
12 de Agosto de 2013	1	Prismático	7	29
	2	Prismático	7	30
	3	Cilíndrico	7	31
<b>PROMEDIO</b>				<b>31</b>

Tabla 6.7: Resumen de resultados prueba de temperatura.

Fuente: Propia

### **6.2.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO.**

Se consideró importante el parámetro del peso volumétrico en el estudio del control de calidad para la mezcla de concreto en laboratorio, debido a la importante influencia que este presenta sobre sus propiedades en estado fresco. Por otro lado las especificaciones de la Norma ASTM C 94 para concreto convencional recomiendan que no exista una variación en más de 16 kg/m<sup>3</sup> entre diferentes ensayos de un mismo proporcionamiento.

En cuanto a la reproducción del concreto, los pesos volumétricos se conservaron en general constantes (Figura 6.3) y están dentro del margen recomendado; Los resultados obtenidos al medir y realizar el ensayo para cada metodología de dosificación según la edad de prueba, se presentan en las tablas 6.7 y 6.8 dando como resultado un promedio de 2326 kg/m<sup>3</sup> (Ver Tabla 6.9). Considerando que la mezcla se llevó a cabo en las horas diurnas (8:00 a.m. – 4:00 p.m.) puede señalarse que la mezcla no presento grandes variaciones por la influencia de factores ambientales.



Figura 6.3: Ensayo de Peso Volumétrico.  
Fuente: Propia

**RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO  
FRESCO SEGÚN METODOLOGÍA DE DOSIFICACIÓN.**

**PESOS VOLUMETRICOS DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 28 DIAS.**

<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 24/Julio/2013- 26/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2312kg/m <sup>3</sup>	2313 kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2316 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2312 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 25/Julio/2013- 29/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2342kg/m <sup>3</sup>	2341kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2340 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2341 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 26/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2317kg/m <sup>3</sup>	2315 kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2315 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2313 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 29/Julio/2013- 30/Julio/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2339kg/m <sup>3</sup>	2335kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2328 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2338 kg/m <sup>3</sup>	

Tabla 6.8: Resultados de prueba de peso volumétrico para 28 días.  
Fuente: Propia

**PESOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO FRESCO A EDAD DE 7 DIAS.**

<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 7/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2310kg/m <sup>3</sup>	2311 kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2314 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2310 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Fuller.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 8/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2338kg/m <sup>3</sup>	2340 kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2342 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2338 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 9/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2316kg/m <sup>3</sup>	2315 kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2312 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2316 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Metodología de dosificación Shilstone.</b>		$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$
<b>Fecha: 12/Agosto/2013</b>		PROMEDIO.
<b>Bachada 1</b>	2336kg/m <sup>3</sup>	2335kg/m <sup>3</sup>
<b>Bachada 2</b>	2322 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bachada 3</b>	2336 kg/m <sup>3</sup>	

Tabla 6.9: Resultados de prueba de peso volumétrico para 7 días.

Fuente: Propia

**RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO AL  
CONCRETO FRESCO.**

<b>Resultados de prueba de Peso Volumétrico</b>				
<b>Fecha de ensayo</b>	<b>N° de Bachada</b>	<b>Tipo de Espécimen para el cual se preparó la mezcla de concreto</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Peso Volumétrico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>24 de Julio de 2013</b>	1	Prismático	28	2312
	2	Prismático	28	2316
<b>25 de julio de 2013</b>	1	Prismático	28	2342
	2	Prismático	28	2340
<b>26 de Julio de 2013</b>	1	Prismático	28	2317
	2	Prismático	28	2315
	3	Cilíndrico	28	2312
<b>29 de Julio de 2013</b>	1	Prismático	28	2339
	2	Prismático	28	2328
	3	Cilíndrico	28	2341
<b>30 de Julio de 2013</b>	1	Cilíndrico	28	2313
	2	Cilíndrico	28	2338
<b>07 de Agosto de 2013</b>	1	Prismático	7	2310
	2	Prismático	7	2314
	3	Cilíndrico	7	2310
<b>08 de Agosto de 2013</b>	1	Prismático	7	2338
	2	Prismático	7	2342
	3	Cilíndrico	7	2338
<b>09 de Agosto de 2013</b>	1	Prismático	7	2316
	2	Prismático	7	2312
	3	Cilíndrico	7	2316
<b>12 de Agosto de 2013</b>	1	Prismático	7	2336
	2	Prismático	7	2322
	3	Cilíndrico	7	2336
<b>PROMEDIO</b>				<b>2326</b>

Tabla 6.10: Resumen de resultados prueba pesos de volumétricos.  
Fuente: Propia

## **6.3 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

Para analizar cada una de las propiedades en estado endurecido que Fuller y Shilstone establecen, es necesario realizar ensayos de Flexión y compresión, cada uno de ellos sustentados en el ASTM.

### **6.3.1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Para la elaboración de los especímenes de la prueba a la Flexión se utilizaron moldes de 6"X6"X 24" , en total se ensayaron 128 especímenes a las edades de 7 y 28 días, bajo la especificación de la norma ASTM C 78, en total se realizaron 16 bachadas para obtener determinado número de especímenes.

Luego estos especímenes fueron desmoldados a las 24 horas y posteriormente sumergidos en agua para darles el curado respectivo hasta que cumplieran la edad para ser ensayados.

Para el ensayo de los especímenes estos se realizaron en la Maquina Universal de la Escuela de Ingeniería Civil donde se utilizaron almohadillas de neopreno tal como se observa en la Figura 6.4 y se aplicó cada una de las cargas hasta que estos fallaran.



Figura 6.4: Ensayo de Resistencia a Flexión  
Laboratorio de Suelos y Materiales FIA UES.  
Fuente: Propia

En la Tabla 6.11 se dan a conocer los promedios de los resultados de los ensayos a la Flexión, además de presentar el porcentaje de ganancia de resistencias, tanto para los 7 y 28 días para metodología de dosificación Fuller y Shilstone respectivamente se muestra el sobre diseño que posee Fuller.

	7 DIAS	% GANANCIA DE RESISTENCIA	28 DIAS	% GANANCIA DE RESISTENCIA	SOBREDISEÑO
<b>FULLER 37</b>	34.7	<b>93.7</b>	43.6	<b>118.0</b>	6
<b>FULLER 45</b>	42.2	<b>93.8</b>	52.6	<b>116.8</b>	7
<b>SHILSTONE 37</b>	37.9	<b>102.5</b>	47.4	<b>128.1</b>	
<b>SHILSTONE 45</b>	45.3	<b>100.7</b>	55.8	<b>124.1</b>	

Tabla 6.11: Resultados promedio de Ensayos de Flexión.  
Fuente: Propia

## FALLA DE LOS ESPECÍMENES

Cada uno de los especímenes que fueron ensayados resultaron con fallas al tercio medio tal como se observa en la Figura 6.5 además se observó que en la mayoría de los especímenes el agregado no falla. En las siguientes Tablas (6.12 -6.19) se muestran los resultados de cada uno de los ensayos de Flexión realizados a los 7 y 28 días, tanto para Fuller como Shilstone.

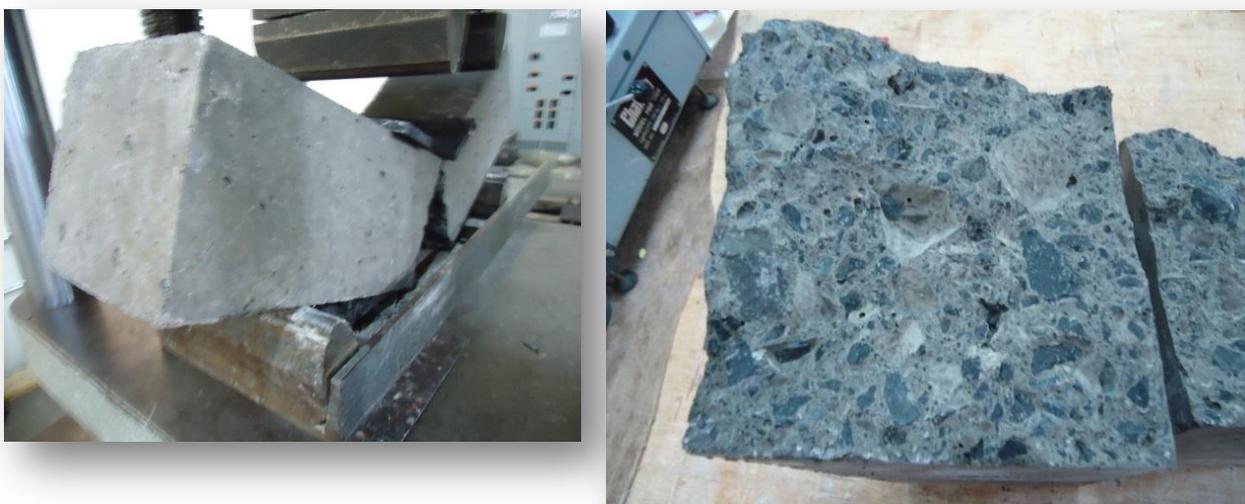


Figura 6.5: Tipos de Falla en especímenes sometidos a Flexión  
Laboratorio de Suelos y materiales FIA UES.  
Fuente: Propia

En las siguientes tablas se presentan los resultados de los diferentes Ensayos a la Flexión para Viguetas utilizando metodología de dosificación Fuller y Shilstone.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 ING. "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL FREDY GRANADENO. ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXION 7 DIAS FULLER 37

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	30.9	15.4	15.3	45	2600	32.46	TERCIO MEDIO
2	31.1	15.6	15.3	45	2750	33.89	TERCIO MEDIO
3	31.2	15.4	15.5	45	3000	36.49	TERCIO MEDIO
4	31.9	15.7	15.4	45	3200	38.67	TERCIO MEDIO
5	31.3	15.5	15.4	45	3050	37.34	TERCIO MEDIO
6	30.2	15.5	15.2	45	2450	30.79	TERCIO MEDIO
7	32.1	15.4	15.2	45	2500	31.62	TERCIO MEDIO
8	31.8	15.4	15.2	45	2800	35.41	TERCIO MEDIO
9	32.5	15.4	15.2	45	2500	31.62	TERCIO MEDIO
10	31.4	15.4	15.0	45	2800	36.36	TERCIO MEDIO
11	31.7	15.5	15.3	45	2550	31.83	TERCIO MEDIO
12	30.8	15.5	15.3	45	3000	37.21	TERCIO MEDIO
13	31.1	15.4	15.4	45	3000	36.96	TERCIO MEDIO
14	33.3	15.3	15.5	45	2550	31.22	TERCIO MEDIO
15	32.9	15.3	15.5	45	2900	35.50	TERCIO MEDIO
16	31.9	15.1	15.4	45	3000	37.70	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.63					34.68	

Tabla 6.12: Tabulación de ensayos a Flexión Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXIÓN 28 DÍAS FULLER 37

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	31.7	15.5	15.4	45	3550	45.41	TENSO MEDIO
2	32.0	15.2	15.5	45	3650	46.16	TENSO MEDIO
3	32.5	15.5	15.5	45	3550	42.09	TENSO MEDIO
4	31.0	15.5	15.5	45	3250	40.51	TENSO MEDIO
5	31.2	15.4	15.2	45	3650	46.16	TENSO MEDIO
6	31.5	15.2	15.5	45	3550	44.90	TENSO MEDIO
7	31.1	15.0	15.2	45	3500	42.85	TENSO MEDIO
8	32.5	15.5	15.4	45	3550	41.55	TENSO MEDIO
9	31.8	15.5	15.5	45	3650	46.37	TENSO MEDIO
10	31.1	15.4	15.4	45	3600	46.82	TENSO MEDIO
11	32.0	15.2	15.4	45	3900	56.20	TENSO MEDIO
12	30.9	15.5	15.2	45	3550	42.65	TENSO MEDIO
13	31.2	15.5	15.4	45	3650	47.75	TENSO MEDIO
14	31.1	15.5	15.1	45	3500	44.57	TENSO MEDIO
15	32.7	15.4	15.5	45	3200	38.92	TENSO MEDIO
16	31.1	15.2	15.2	45	3550	45.49	TENSO MEDIO
PROMEDIO	31.56					43.64	

Tabla 6.13: Tabulación de ensayos a Flexión Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^3$  para 28 días.  
 Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXION 7 DIAS FULLER 45

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	32.4	15.3	15.5	45	3750	45.91	TERCIO MEDIO
2	31.5	15.4	15.6	45	3500	42.03	TERCIO MEDIO
3	31.9	15.6	15.5	45	2800	33.62	TERCIO MEDIO
4	31.6	15.6	15.6	45	3300	39.12	TERCIO MEDIO
5	31.6	15.3	15.7	45	3800	45.34	TERCIO MEDIO
6	31.2	15.1	15.0	45	3300	43.71	TERCIO MEDIO
7	31.9	15.7	15.6	45	3700	43.58	TERCIO MEDIO
8	32.8	15.2	15.3	45	3200	40.47	TERCIO MEDIO
9	32.7	15.4	15.2	45	3700	46.80	TERCIO MEDIO
10	32.6	15.3	15.3	45	3200	40.21	TERCIO MEDIO
11	32.4	15.2	15.6	45	3200	38.93	TERCIO MEDIO
12	31.9	15.0	15.0	45	3300	44.00	TERCIO MEDIO
13	31.9	15.1	15.1	45	3200	41.82	TERCIO MEDIO
14	31.5	15.4	15.7	45	3900	46.23	TERCIO MEDIO
15	30.6	15.5	15.3	45	3700	45.89	TERCIO MEDIO
16	31.2	15.6	15.6	45	3200	37.93	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.92					42.22	

Tabla 6.14: Tabulación de ensayos a Flexión Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: **ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS**  
Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"**  
Tipo de Ensayo: **ENSAYO DE FLEXIÓN 28 DÍAS FULLER45**

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	31.7	15.5	15.4	45	4200	52.43	TERCIO MEDIO
2	31.1	15.4	15.3	45	4250	53.05	TERCIO MEDIO
3	30.9	15.5	15.4	45	4300	52.64	TERCIO MEDIO
4	30.5	15.3	15.4	45	4600	57.05	TERCIO MEDIO
5	30.8	15.4	15.4	45	4700	57.91	TERCIO MEDIO
6	32.0	15.0	15.3	45	4000	51.26	TERCIO MEDIO
7	32.3	15.2	15.3	45	4050	51.22	TERCIO MEDIO
8	31.0	15.4	15.2	45	3900	49.33	TERCIO MEDIO
9	32.1	15.6	15.6	45	4450	52.75	TERCIO MEDIO
10	32.5	15.2	15.2	45	4150	53.18	TERCIO MEDIO
11	32.5	15.4	15.3	45	4250	53.05	TERCIO MEDIO
12	32.4	15.2	15.5	45	4250	52.37	TERCIO MEDIO
13	32.3	15.2	15.4	45	4000	49.93	TERCIO MEDIO
14	32.2	15.2	15.4	45	4050	50.56	TERCIO MEDIO
15	31.4	15.4	15.4	45	4450	54.83	TERCIO MEDIO
16	30.9	15.4	15.4	45	4000	49.28	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.66					52.55	

Tabla 6.15: Tabulación de ensayos a Flexión Fuller  $M_a = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXION 7 DIAS SHILSTONE 37

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	31.2	15.6	15.4	45	2850	35.67	TERCIO MEDIO
2	32.7	15.2	15.4	45	2850	35.58	TERCIO MEDIO
3	31.3	15.5	15.4	45	3250	39.79	TERCIO MEDIO
4	30.9	15.4	15.4	45	2700	33.27	TERCIO MEDIO
5	31.0	15.4	15.3	45	3050	38.07	TERCIO MEDIO
6	31.1	15.2	15.3	45	3050	38.57	TERCIO MEDIO
7	32.5	15.2	15.4	45	2800	34.95	TERCIO MEDIO
8	32.2	15.2	15.0	45	3200	42.11	TERCIO MEDIO
9	31.5	15.2	15.3	45	3000	37.94	TERCIO MEDIO
10	30.6	15.3	15.4	45	2650	32.86	TERCIO MEDIO
11	31.1	15.2	15.3	45	3400	43.00	TERCIO MEDIO
12	32.4	15.3	15.4	45	3000	37.20	TERCIO MEDIO
13	31.9	15.3	15.0	45	2500	32.68	TERCIO MEDIO
14	31.1	15.5	15.5	45	3500	42.29	TERCIO MEDIO
15	32.0	15.4	14.8	45	3200	42.69	TERCIO MEDIO
16	32.5	15.5	15.2	45	3250	40.84	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.63					37.91	

Tabla 6.16 Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone.  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXIÓN 28 DÍAS SHILSTONE 37

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	31.4	15.4	15.5	45	3500	42.57	TERCIO MEDIO
2	32.0	15.4	15.0	45	3400	44.16	TERCIO MEDIO
3	31.4	15.4	15.4	45	4250	52.36	TERCIO MEDIO
4	31.8	15.2	15.5	45	4050	49.91	TERCIO MEDIO
5	31.6	15.4	15.4	45	4150	51.13	TERCIO MEDIO
6	32.1	15.3	15.4	45	3800	47.13	TERCIO MEDIO
7	32.3	15.2	15.4	45	4000	49.93	TERCIO MEDIO
8	32.1	15.4	15.4	45	3700	45.59	TERCIO MEDIO
9	31.7	15.6	15.3	45	3800	46.83	TERCIO MEDIO
10	31.4	15.5	15.6	45	4300	51.30	TERCIO MEDIO
11	32.0	15.2	15.6	45	3800	46.23	TERCIO MEDIO
12	31.4	15.4	15.6	45	3800	45.63	TERCIO MEDIO
13	30.6	15.4	15.4	45	3750	46.20	TERCIO MEDIO
14	31.0	15.4	15.6	45	3800	45.63	TERCIO MEDIO
15	32.6	15.2	15.2	45	3800	48.69	TERCIO MEDIO
16	33.5	15.4	15.6	45	3750	45.03	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.81					47.39	

Tabla 6.17: Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXIÓN 7 DIAS SHILSTONE 45

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	32.5	15.4	15.0	45	3250	42.21	TERCIO MEDIO
2	31.1	15.2	15.2	45	3200	41.00	TERCIO MEDIO
3	32.3	15.3	15.2	45	3500	44.56	TERCIO MEDIO
4	32.5	15.2	15.2	45	3300	42.29	TERCIO MEDIO
5	32.7	15.5	15.1	45	3300	42.02	TERCIO MEDIO
6	32.5	15.6	15.2	45	3650	45.57	TERCIO MEDIO
7	31.0	15.6	15.3	45	3600	44.36	TERCIO MEDIO
8	30.7	15.3	15.4	45	3850	47.75	TERCIO MEDIO
9	31.9	15.6	14.8	45	3450	45.43	TERCIO MEDIO
10	32.6	15.4	15.3	45	3450	43.07	TERCIO MEDIO
11	31.1	15.4	15.3	45	3500	43.69	TERCIO MEDIO
12	31.3	15.5	15.4	45	4050	49.58	TERCIO MEDIO
13	30.9	15.4	15.2	45	3550	44.90	TERCIO MEDIO
14	30.8	15.4	15.3	45	3950	49.31	TERCIO MEDIO
15	31.1	15.5	15.3	45	4050	50.23	TERCIO MEDIO
16	31.5	15.4	15.4	45	4000	49.28	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.72					45.33	

Tabla 6.18 Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia ]



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE FLEXIÓN 28 DÍAS SHILSTONE 45

No DE ESPECIMEN	PESO	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD ENTRE APOYOS (CM)	CARGA MAXIMA (KG)	$M_R$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FALLA
1	30.7	15.3	15.3	45	4500	56.54	TERCIO MEDIO
2	32.4	15.2	15.6	45	4750	57.78	TERCIO MEDIO
3	32.2	15.4	15.4	45	4350	53.80	TERCIO MEDIO
4	31.6	15.3	14.9	45	4150	54.98	TERCIO MEDIO
5	32.5	15.5	15.0	45	4000	51.61	TERCIO MEDIO
6	32.3	15.6	15.2	45	4500	56.18	TERCIO MEDIO
7	31.1	15.4	15.4	45	4000	49.28	TERCIO MEDIO
8	31.1	15.6	15.5	45	4250	51.03	TERCIO MEDIO
9	31.9	15.2	15.3	45	4700	56.91	TERCIO MEDIO
10	31.0	15.3	15.3	45	4500	59.05	TERCIO MEDIO
11	31.3	15.4	15.4	45	4500	55.45	TERCIO MEDIO
12	31.5	15.4	15.6	45	4750	57.03	TERCIO MEDIO
13	31.1	15.6	15.2	45	4500	56.18	TERCIO MEDIO
14	31.9	15.4	15.4	45	4650	57.39	TERCIO MEDIO
15	31.4	15.4	15.1	45	4850	62.16	TERCIO MEDIO
16	30.8	15.3	15.3	45	4650	58.42	TERCIO MEDIO
PROMEDIO	31.61					55.84	

Tabla 6.19 Tabulación de ensayos a Flexión Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia

A continuación se presenta una serie de Gráficos (6.1 -6.10) los cuales se han trazado con el objetivo de tener una mejor visualización del valor de falla de los especímenes al momento de ser ensayados

### Gráficos $M_R$ Vrs No de Espécimen

En estos gráficos (6.1 - 6.8) se observa el valor individual de falla de cada espécimen a los 7 y 28 días, tanto para metodología de dosificación Fuller y Shilstone respectivamente.

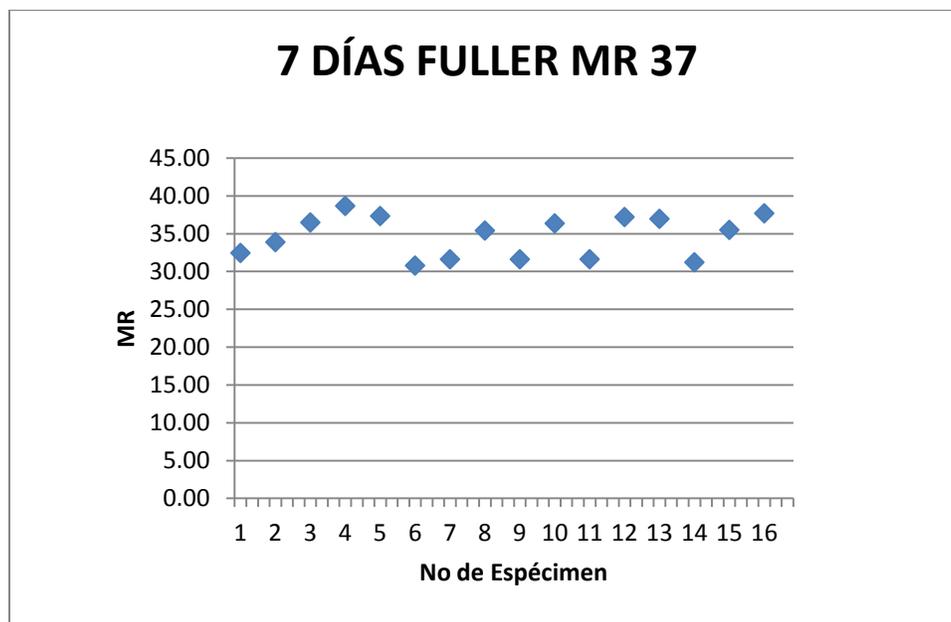


Gráfico 6.1:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia

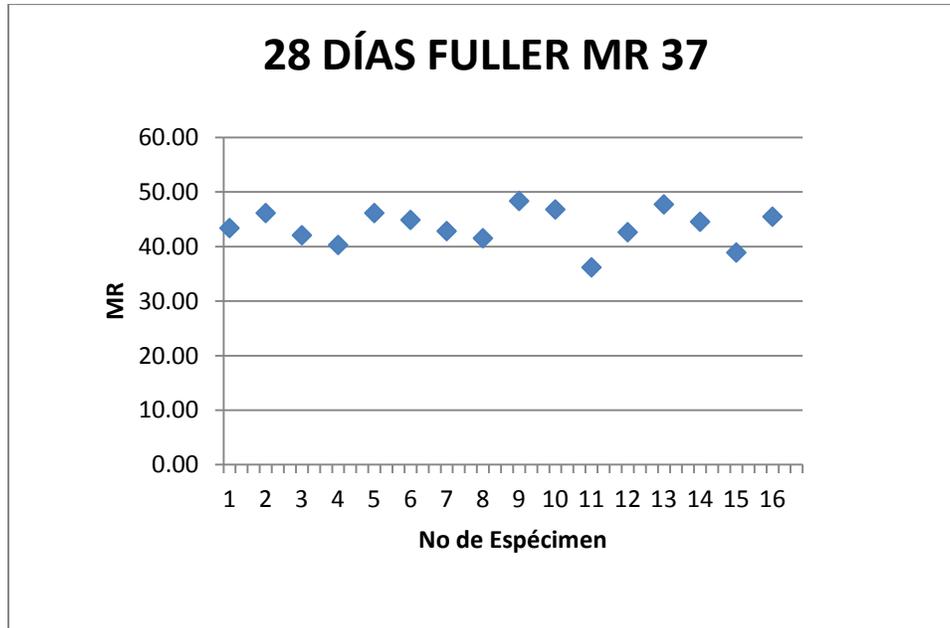


Gráfico 6.2:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia

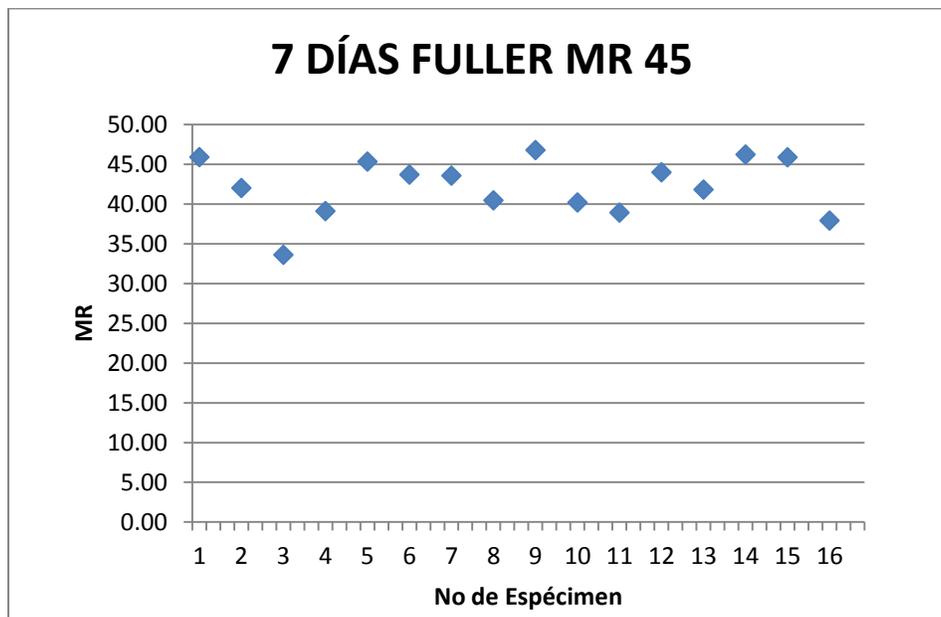


Gráfico 6.3:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia

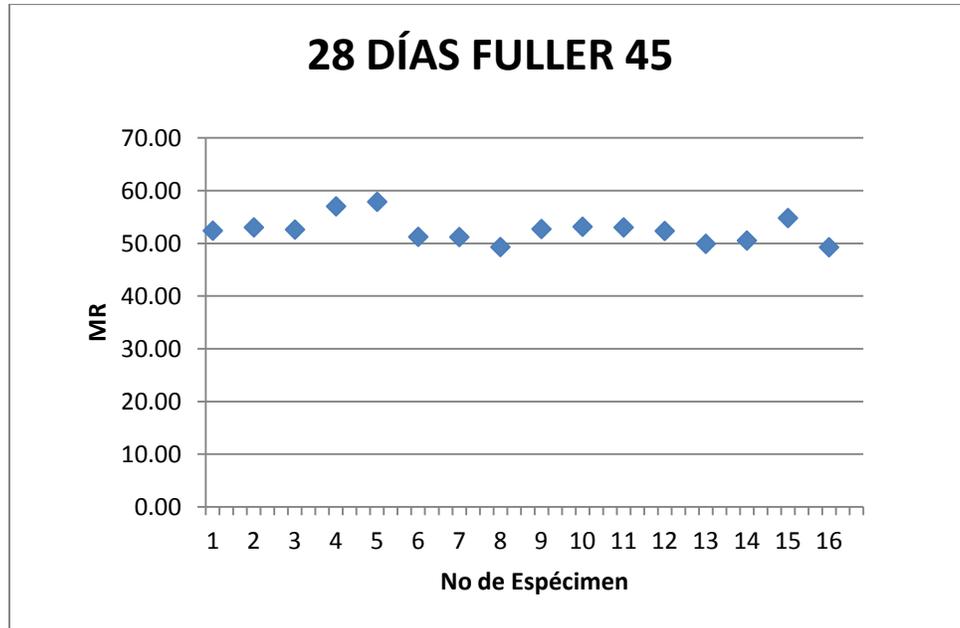


Gráfico 6.4:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente Los Autores

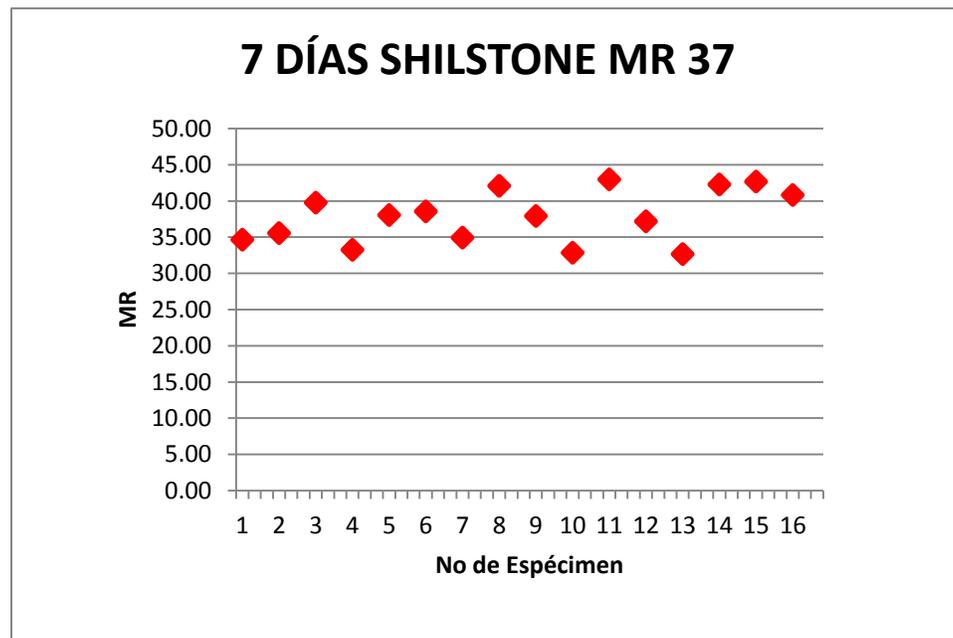


Gráfico 6.5:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia

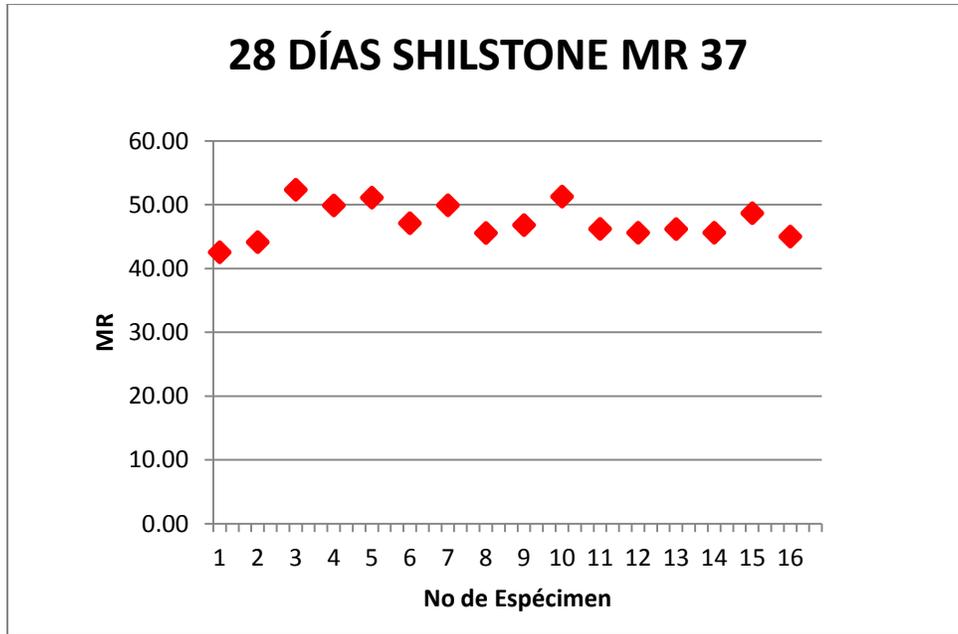


Gráfico 6.6:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia

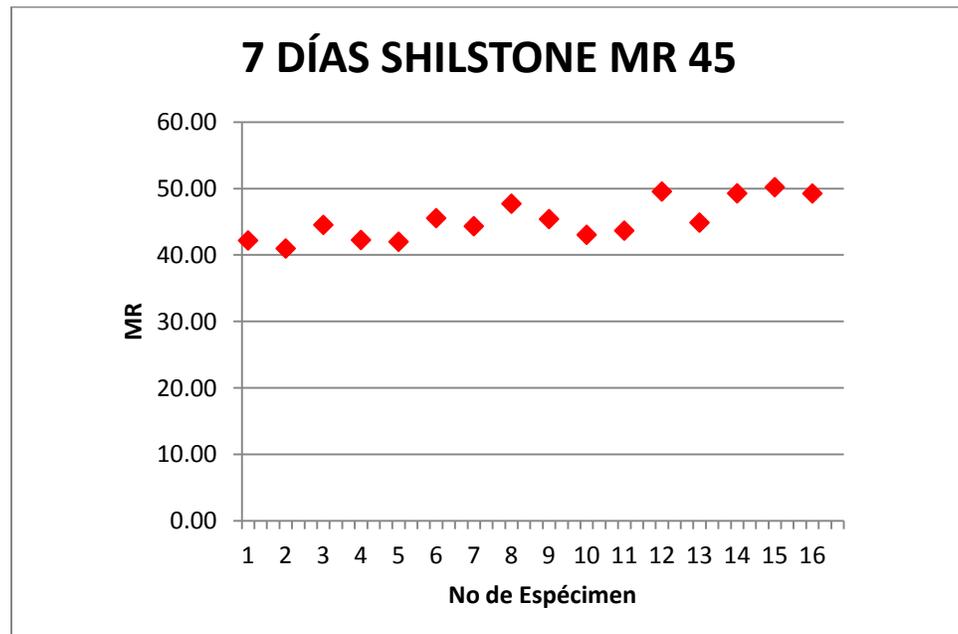


Gráfico 6.7:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia



Gráfico 6.8:  $M_R$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia

### GRÁFICOS FULLER Vrs SHILSTONE a los 7 y 28 días

En los siguientes gráficos (6.9 y 6.10) se muestra el comportamiento del concreto endurecido a la edad de 7 y 28 días, el módulo de ruptura que se observa es el valor promedio de todos los ensayos tanto para metodología de dosificación Fuller así también Shilstone

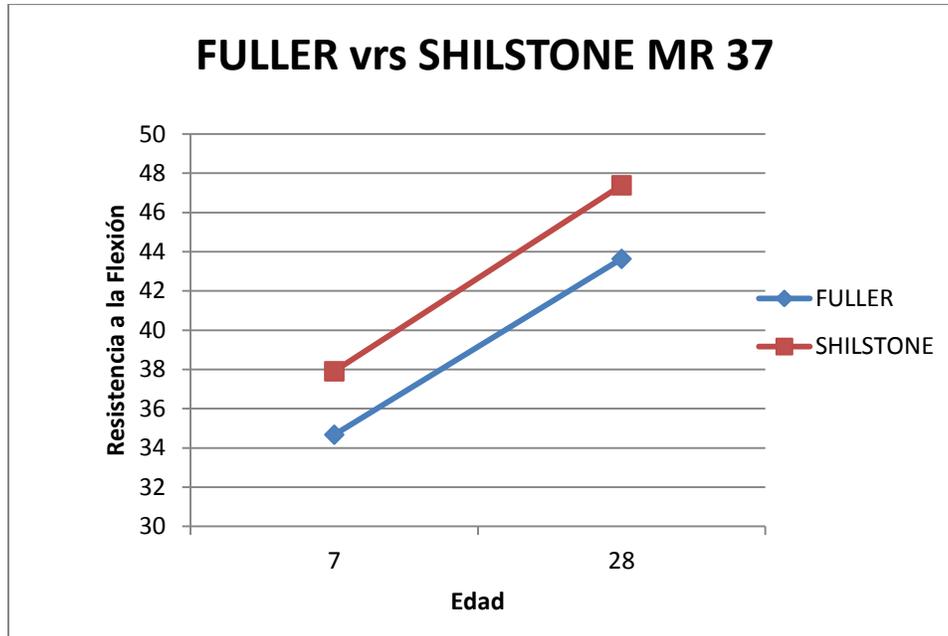


Gráfico 6.9: Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

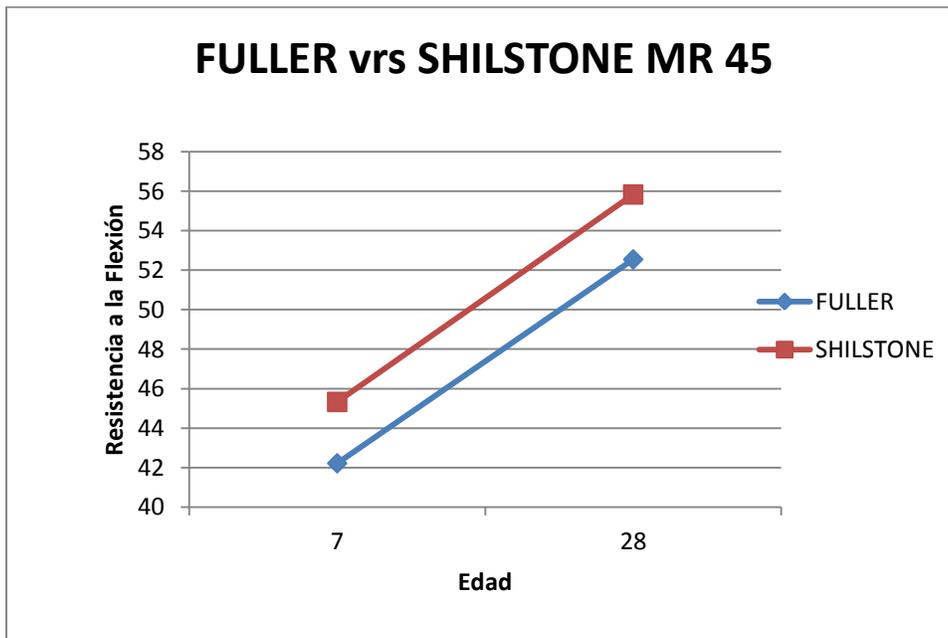


Gráfico 6.10: Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

### 6.3.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la elaboración de los especímenes de prueba a la compresión se utilizaron moldes de 6"x12", en total se ensayaron 96 especímenes a las edades de 7 y 28 días, bajo la especificación de la norma ASTM C 39, en total se realizaron 8 batchadas para obtener determinado número de especímenes, estos especímenes fueron desmoldados a las 24 horas y posteriormente sumergidos en agua para darles el curado respectivo hasta que cumplieran la edad para ser ensayados.

Para el ensayo de los especímenes se realizaron en la Máquina Universal de la Escuela de Ingeniería Civil donde se utilizaron almohadillas de neopreno tal como se observa en la Figura 6.6 y se aplicó cada una de las cargas hasta que estos fallaran.



Figura 6.6: Ensayo de Resistencia a Compresión, laboratorio de Suelos y materiales FIA UES,  
Fuente: Propia

En la Tabla 6.20 se dan a conocer los resultados de los ensayos a la compresión realizados a los 7 y 28 días tanto para Fuller y Shilstone.

	7 DIAS	28 DIAS
<b>FULLER 37</b>	<b>357.2</b>	<b>435.8</b>
<b>FULLER 45</b>	<b>403.2</b>	<b>500.7</b>
<b>SHILSTONE 37</b>	<b>363.5</b>	<b>442.1</b>
<b>SHILSTONE 45</b>	<b>403.3</b>	<b>506.5</b>

Tabla 6.20: Resultados promedio de Resistencia a Compresión  
Fuente: Propia

### Fallas en los especímenes

En la Figura 6.7 se muestran los tipos de falla más comunes que se dieron a la hora de ser ensayados cada uno de los especímenes.



Figura 6.7: Tipos de falla en ensayo de compresión laboratorio de Suelos y Materiales FIA UES.  
Fuente: Propia

En el Gráfico 6.11 se muestra el porcentaje de las fallas observadas en cada uno de los especímenes cilíndricos, se destaca el Tipo de Falla 3 que se caracteriza

por tener grietas en columnas verticales en ambos extremos este fue el tipo de falla más común en esta investigación( ver figura 4.14 )

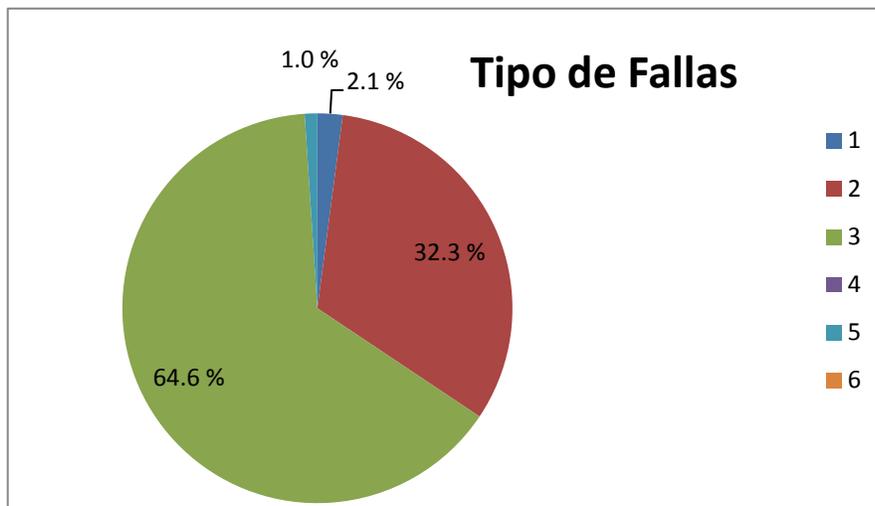


Grafico 6.11: Porcentajes de Fallas observados.  
Fuente: Propia

En las siguientes Tablas (6.21 -6.28) se muestran los valores de Resistencia a la compresión que se obtuvieron al ensayar los 96 especímenes cilíndricos para metodología de dosificación Fuller Y Shilstone.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESION 7 DIAS FULLER 37

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	13.0	15.4	30.2	185.46	57250	308.69	TIPO 3
2	13.0	15.2	30.5	181.46	61500	338.92	TIPO 3
3	13.0	15.2	30.5	182.26	75250	412.88	TIPO 3
4	12.9	15.1	30.4	178.29	64500	361.77	TIPO 3
5	13.3	15.2	30.5	181.46	65750	362.34	TIPO 5
6	13.3	15.2	30.4	180.66	65750	363.94	TIPO 2
7	13.1	15.1	30.4	179.87	64700	359.7	TIPO 2
8	13.1	15.1	30.4	179.87	63250	351.64	TIPO 2
9	13.0	15.1	30.4	179.08	62000	346.22	TIPO 1
10	13.3	15.3	30.4	183.05	68750	375.57	TIPO 2
11	13.1	15.2	30.4	181.46	63000	347.19	TIPO 3
12	13.0	15.1	30.3	179.08	64000	357.38	TIPO 2
PROMEDIO	13.1					357.19	

Tabla 6.21: Tabulación de ensayos a compresión Fuller  $M_d = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESIÓN 28 DIAS FULLER 37

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	13.0	15.1	30.4	179.87	78500	436.43	TIPO 2
2	12.7	15.0	30.4	177.50	72500	408.45	TIPO 3
3	12.7	15.0	30.5	176.71	73500	415.92	TIPO 3
4	12.7	15	30.5	176.71	75000	424.41	TIPO 3
5	13.0	15.2	30.4	181.46	83500	460.16	TIPO 2
6	12.7	15.0	30.4	177.50	77750	438.03	TIPO 2
7	12.8	15.1	30.5	178.29	80750	452.92	TIPO 3
8	12.6	15.0	30.4	176.71	77500	438.56	TIPO 2
9	13.1	15.0	30.5	177.50	72500	408.45	TIPO 3
10	13.0	15.0	30.5	176.71	82500	466.85	TIPO 3
11	12.8	15.0	30.5	177.50	75000	422.53	TIPO 3
12	13.1	15.1	30.4	178.29	81500	452.17	TIPO 3
PROMEDIO	12.85					435.82	

Tabla 6.22: Tabulación de ensayos a compresión Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESION 7 DIAS FULLER 45

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	13.1	15.1	30.4	179.87	71500	397.51	TIPO 3
2	13.3	15.4	30.3	185.46	75500	407.10	TIPO 3
3	13.0	15.1	30.3	179.08	72250	403.45	TIPO 3
4	13.3	15.2	30.4	181.46	71500	394.03	TIPO 3
5	13.0	15.1	30.5	178.29	72250	405.24	TIPO 3
6	13.0	15.1	30.5	179.08	70500	393.68	TIPO 3
7	13.3	15.2	30.4	181.46	72500	399.54	TIPO 3
8	13.0	15.2	30.4	181.46	70250	387.14	TIPO 3
9	13.2	15.2	30.3	182.26	75000	411.51	TIPO 3
10	13.0	15.2	30.4	181.46	76000	418.83	TIPO 3
11	13.0	15.1	30.4	179.87	72250	401.68	TIPO 3
12	13.3	15.2	30.4	181.46	76000	418.83	TIPO 3
PROMEDIO	13.1					403.21	

Tabla 6.23: Tabulación de ensayos a compresión Fuller  $M_x = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADENO, ELDER SANTOS  
 Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
 Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESIÓN 28 DIAS FULLER45

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	12.7	15.0	30.5	177.50	89250	502.81	TIPO 2
2	12.9	15.1	30.5	178.29	92500	518.82	TIPO 3
3	12.8	15.1	30.4	179.08	89750	501.18	TIPO 3
4	12.7	15.0	30.5	177.50	92750	522.53	TIPO 3
5	12.8	15.0	30.5	177.50	86500	487.32	TIPO 2
6	12.9	15.2	30.5	180.66	88000	487.09	TIPO 3
7	12.9	15.1	30.5	179.87	93500	519.82	TIPO 3
8	12.6	15.1	30.5	179.87	87500	486.46	TIPO 2
9	12.6	15.0	30.4	176.71	87000	492.32	TIPO 2
10	12.7	15.1	30.5	179.07	87500	488.61	TIPO 3
11	12.8	15.0	30.5	176.71	88500	500.81	TIPO 3
12	12.8	15.1	30.4	179.07	88250	492.80	TIPO 3
PROMEDIO	12.8					500.71	

Tabla 6.24: Tabulación de ensayos a compresión Fuller  $M_x = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESIÓN 7 DIAS SHILSTONE 37

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	12.9	15.1	30.4	178.29	64250	360.37	TIPO 1
2	13.2	15.1	30.4	179.87	69250	385.00	TIPO 2
3	13.3	15.2	30.5	182.26	68250	374.48	TIPO 2
4	12.9	15.0	30.4	176.71	64750	366.41	TIPO 2
5	13.2	15.3	30.4	183.05	67500	368.74	TIPO 2
6	13.1	15.1	30.5	179.87	61250	340.52	TIPO 2
7	13.0	15.1	30.5	179.87	63250	351.64	TIPO 3
8	13.0	15.1	30.5	178.29	63500	356.16	TIPO 2
9	13.2	15.1	30.4	179.87	67500	375.27	TIPO 2
10	13.0	15.1	30.4	178.29	63250	354.76	TIPO 2
11	13.3	15.1	30.3	179.87	68000	378.05	TIPO 3
12	13.0	15.3	30.5	183.05	64250	350.19	TIPO 3
PROMEDIO	13.1					363.53	

Tabla 6.25: Tabulación de ensayos a compresión Shilstone  $M_x = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.  
Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESIÓN 28 DÍAS SHILSTONE 37

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	12.6	15.1	30.3	179.08	78750	439.75	TIPO 3
2	12.7	15.1	30.4	179.08	77750	434.17	TIPO 3
3	12.7	15.0	30.4	177.50	80000	450.70	TIPO 2
4	12.6	15.1	30.4	178.29	83750	469.74	TIPO 2
5	12.5	15.1	30.4	179.08	78750	439.75	TIPO 3
6	12.4	15.1	30.4	178.29	77500	434.69	TIPO 3
7	12.9	15.2	30.3	181.46	76750	422.96	TIPO 2
8	12.6	15.1	30.5	179.08	78750	439.75	TIPO 3
9	12.6	15.1	30.4	179.87	78000	433.65	TIPO 3
10	12.8	15.1	30.4	179.07	77750	434.17	TIPO 3
11	12.7	15.0	30.5	177.50	77250	435.21	TIPO 3
12	12.5	15.0	30.4	176.71	83000	469.68	TIPO 3
PROMEDIO	12.6					442.02	

Tabla 6.26: Tabulación de ensayos a compresión Shilstone  $M_s = 37 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACIÓN "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESION 7 DIAS SHILSTONE 45

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	13.0	15.1	30.5	179.87	77500	430.87	TIPO 3
2	12.8	15.1	30.5	179.08	70500	393.68	TIPO 3
3	13.2	15.1	30.5	179.87	73250	407.24	TIPO 3
4	13.0	15.1	30.4	179.08	68000	379.72	TIPO 2
5	12.7	15.1	30.4	178.29	71750	402.44	TIPO 3
6	13.0	15.0	30.5	176.21	73500	415.92	TIPO 3
7	12.7	15.0	30.4	176.21	69500	393.29	TIPO 3
8	12.8	15.0	30.5	176.71	69250	391.87	TIPO 3
9	12.9	15.0	30.5	176.71	69000	390.46	TIPO 3
10	12.8	15.1	30.3	179.87	77500	430.87	TIPO 3
11	12.8	15.2	30.4	180.66	71500	395.76	TIPO 2
12	12.8	15.2	30.4	180.66	73500	406.83	TIPO 3
PROMEDIO	12.9					403.25	

Tabla 6.27: Tabulación de ensayos a compresión Shilstone  $M_g = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 7 días.

Fuente: Propia



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

ING "MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Solicitante: ELIEZAR GIL, FREDY GRANADEÑO, ELDER SANTOS  
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION "FULLER Y SHILSTONE"  
Tipo de Ensayo: ENSAYO DE COMPRESION 28 DIAS SHILSTONE 45

No DE ESPECIMEN	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (KG)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	12.3	15.1	30.5	179.87	89250	496.19	TIPO 2
2	12.5	15.0	30.4	176.71	89750	507.88	TIPO 3
3	12.5	15.0	30.4	177.50	91250	514.08	TIPO 3
4	12.9	15.0	30.4	177.50	89750	505.63	TIPO 3
5	12.5	15.0	30.4	176.71	91500	517.78	TIPO 3
6	12.6	15.0	30.4	177.50	89500	504.22	TIPO 3
7	12.9	15.1	30.4	179.87	89750	498.97	TIPO 3
8	12.6	15.0	30.4	176.71	92000	520.61	TIPO 3
9	12.5	15.0	30.5	176.71	90500	512.13	TIPO 2
10	12.9	15.2	30.5	180.66	89750	496.78	TIPO 2
11	12.9	15.1	30.4	179.08	89750	501.18	TIPO 2
12	12.5	15.1	30.4	179.08	90000	502.27	TIPO 2
PROMEDIO	12.6					506.50	

Tabla 6.28: Tabulación de ensayos a compresión Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  para 28 días.

Fuente: Propia

En los siguientes Gráficos (6.12 - 6.21) se muestra la tendencia de los ensayos de compresión realizados a cada uno de los especímenes cilíndricos a los 7 y 28 días para metodología de dosificación Fuller y Shilstone

### GRÁFICO $f'_c$ Vrs No de Espécimen

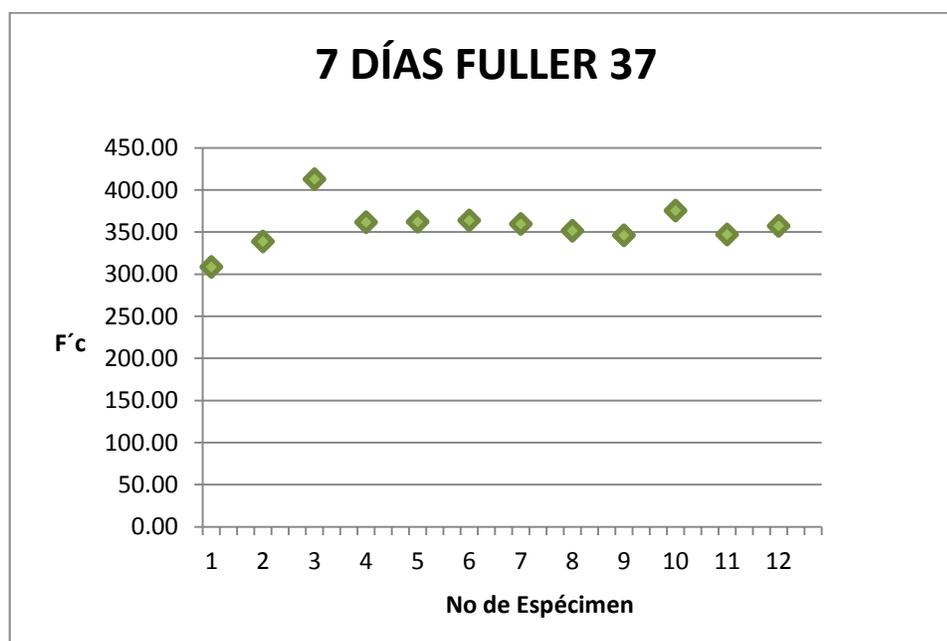


Gráfico 6.12:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia

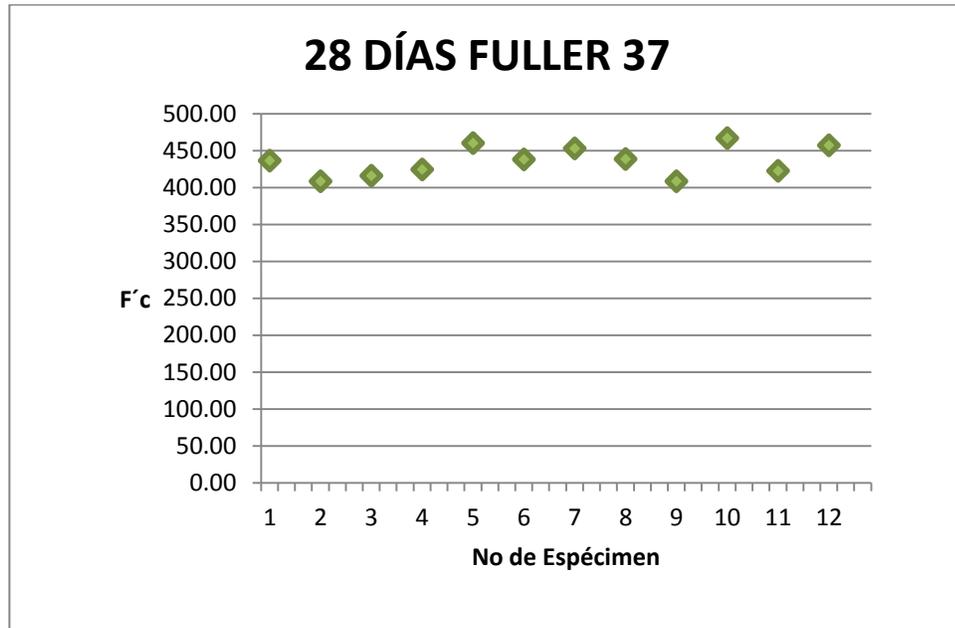


Gráfico 6.13:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia

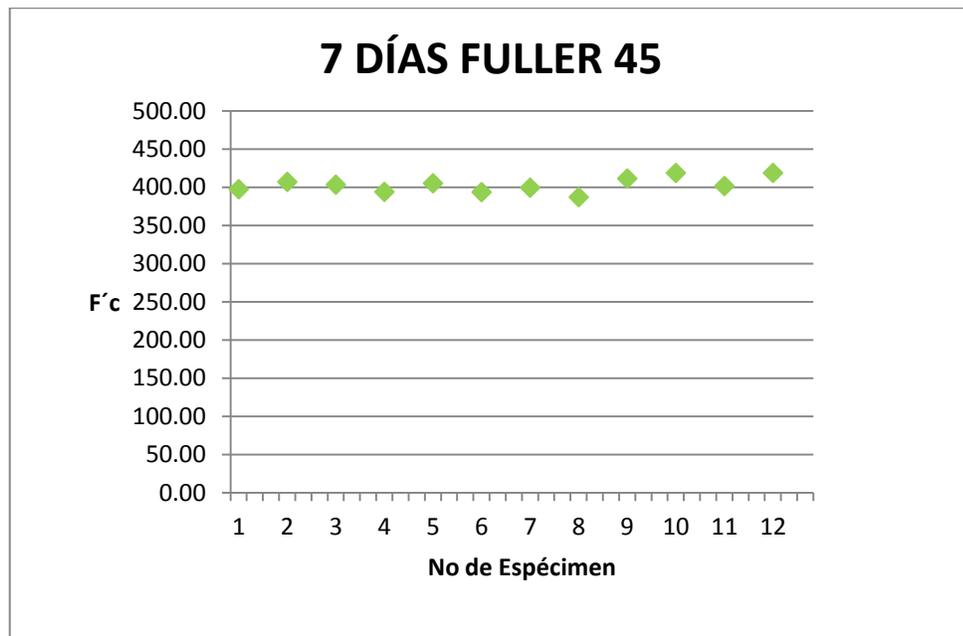


Gráfico 6.14:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia

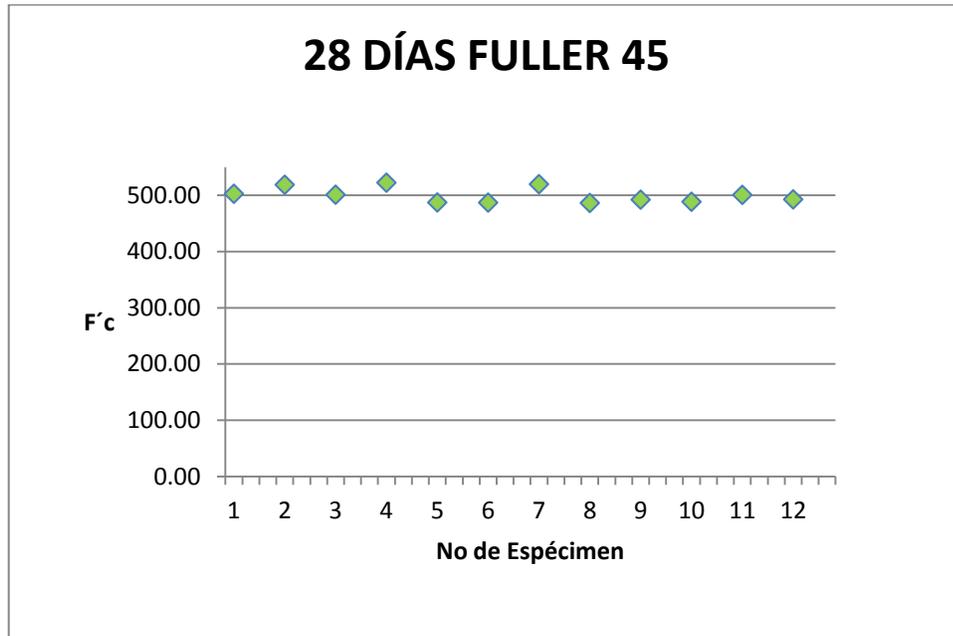


Gráfico 6.15:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia



Gráfico 6.16:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia



Grafico 6.17:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia



Gráfico 6.18:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 7 días.  
Fuente: Propia



Gráfico 6.19:  $f'_c$  Vrs No de Espécimen para Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , edad 28 días.  
Fuente: Propia

### Gráficos Fuller Vrs Shilstone

En los siguientes gráficos (6.20 y 6.21) se observa el promedio de los valores de  $f'_c$  para 7 y 28 días y se comparan los valores obtenidos en Metodología de dosificación Fuller y Shilstone.

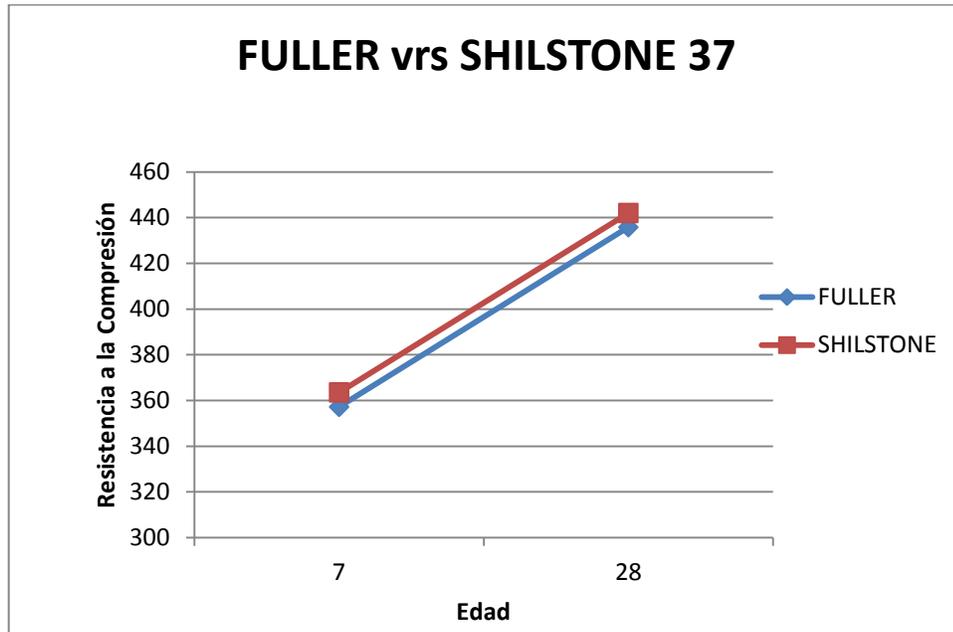


Gráfico 6.20: Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

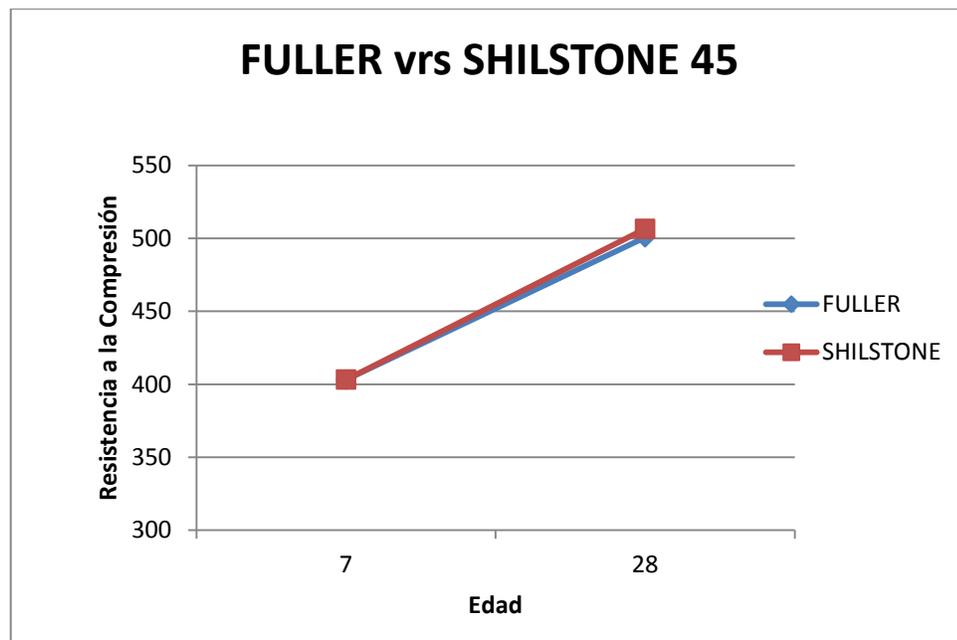


Gráfico 6.21: Fuller Vrs Shilstone a los 7 y 28 días para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

### 6.3.3 RESULTADOS PESOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

El peso volumétrico en el concreto endurecido es una importante propiedad ya que este nos permite verificar el control de calidad de los especímenes las siguientes Tablas 6.29 y 6.30 muestran los valores promedios de los pesos volumétricos del concreto endurecido en especímenes utilizados en esta investigación los resultados están expresados en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

	7 DIAS	28 DIAS
<b>FULLER 37</b>	<b>2320.0</b>	<b>2311.2</b>
<b>FULLER 45</b>	<b>2326.8</b>	<b>2320.9</b>
<b>SHILSTONE 37</b>	<b>2327.8</b>	<b>2314.7</b>
<b>SHILSTONE 45</b>	<b>2341.0</b>	<b>2315.0</b>

Tabla 6.29: Pesos Volumétricos Viguetas.  
Fuente: Propia

	7 DIAS	28 DIAS
<b>FULLER 37</b>	<b>2329.0</b>	<b>2371.6</b>
<b>FULLER 45</b>	<b>2387.6</b>	<b>2355.2</b>
<b>SHILSTONE 37</b>	<b>2391.2</b>	<b>2325.1</b>
<b>SHILSTONE 45</b>	<b>2367.3</b>	<b>2329.3</b>

Tabla 6.30: Pesos Volumétricos Cilindros.  
Fuente: Propia

### 6.3.4 RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESION ( $f'_c$ ) y MODULO DE RUPTURA ( $M_R$ )

Para determinar la relación en esta investigación utilizaremos la ecuación 6.1:

$$C = \frac{f'_c}{M_R} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde  $f'_c$  es el valor promedio de los ensayos a compresión a los 28 días y  $M_R$  es el valor promedio de los ensayos a Flexión a los 28 días, la Tabla 6.31 se muestran los resultados de este valor.

	$f'_c$	$M_R$	RELACION
<b>FULLER 37</b>	<b>435.8</b>	<b>43.7</b>	<b>9.9</b>
<b>FULLER 45</b>	<b>500.7</b>	<b>52.6</b>	<b>9.5</b>
<b>SHILSTONE 37</b>	<b>442.1</b>	<b>43.4</b>	<b>10.2</b>
<b>SHILSTONE 45</b>	<b>506.5</b>	<b>55.8</b>	<b>9.1</b>

Tabla 6.31: Relación  $\frac{f'_c}{M_R}$ .  
Fuente: Propia

# **CAPÍTULO VII**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 7.1 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.

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 las metodologías de dosificación Fuller y Shilstone, generando un documento de apoyo para futuras investigaciones.

## **7.2 CONCLUSIONES.**

### **GENERALES**

1. Evaluando las propiedades en estado fresco y endurecido a las mezclas realizadas a la edad de 7 y 28 días, las variaciones existentes se encuentran en un rango de 1 al 10 %; entre ambas metodologías granulométricas resultando opcional el método que sea utilizado para elaborar especímenes de prueba, cuando la mezcla presenta una consistencia determinada.
2. En la elaboración de especímenes para las mezclas en estudio, la metodología granulométrica Shilstone fue el método que presentó mejores resultados en el acabado superficial y acomodo de partículas comparado con los especímenes elaborados con la metodología de dosificación Fuller.

### **CALIDAD DE LOS MATERIALES Y PROPIEDADES.**

1. La combinación de agregado grueso mostró los siguientes valores:

- Absorción de 1.5 %, gravedad específica seca de 2.60, peso volumétrico suelto de 1471 kg/m<sup>3</sup> y un peso varillado de 1528 kg/m<sup>3</sup>, además presenta una granulometría # 67, de naturaleza triturada y su Tamaño Máximo Nominal es de 3/4", como lo especifica la Norma ASTM C 33 concerniente al agregado grueso.
  - Absorción de 0.70 %, gravedad específica seca de 2.62, peso volumétrico suelto de 1815 kg/m<sup>3</sup> y un peso varillado de 1932 kg/m<sup>3</sup>, además presenta una granulometría # 4, de naturaleza triturada y su Tamaño Máximo Nominal es de 1 1/2", como lo especifica la Norma ASTM C 33 concerniente al agregado grueso.
2. Para el agregado fino de naturaleza triturada se obtuvo un módulo de finura de 3.38 y una curva granulométrica en los límites establecidos en la ASTM C 33, este agregado no cumple con el resto de requisitos establecidos en la misma norma, además las características que presenta no permiten su utilización en el proceso de dosificación establecido por el comité ACI 211, sin embargo este agregado al ser utilizado en una granulometría integrada y con un adecuado manejo de la misma pueden tenerse resultados satisfactorios; la gravedad específica seca es de 2.60, además posee un valor de absorción de 2.5 %.
  3. El cemento utilizado para la elaboración del concreto es el fabricado bajo norma ASTM C 1157 Tipo HE. Con una gravedad específica de 3.10.

4. El aditivo utilizado para la elaboración del concreto deberá cumplir los requerimientos establecidos en la ASTM C 494.

### **ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.**

En la investigación se realizaron cuatro mezclas preliminares, para obtener resistencias de  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  y  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ , para ambas metodologías granulométricas se utilizó una relación A/C de 0.50 y 0.40 respectivamente, en la determinación de la mezcla óptima, teniéndose en la dosificación los siguientes resultados:

3. En la primera mezcla de prueba realizada bajo la metodología granulométrica Fuller se obtuvo un valor de resistencia a la Flexión a 7 días de  $33.39 \text{ kg/cm}^2$ , representando en porcentaje una ganancia de resistencia para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  de 90%. La mezcla presento un porcentaje de combinación de agregado grueso del 70% y un porcentaje de arena de 30%.
4. La segunda mezcla de prueba realizada bajo la metodología granulométrica Fuller se obtuvo un valor de resistencia a la Flexión a 7 días de  $37.89 \text{ kg/cm}^2$ , representando en porcentaje una ganancia de resistencia para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  de 83%. La mezcla presento un

porcentaje de combinación de agregado grueso del 70% y un porcentaje de arena de 30%.

5. En la primera mezcla de prueba realizada bajo la metodología granulométrica Shilstone se obtuvo un valor de resistencia a la Flexión a 7 días de 33.22 kg/cm<sup>2</sup>, representando en porcentaje una ganancia de resistencia para  $M_R = 37$  kg/cm<sup>2</sup> de 89%. La mezcla presento un porcentaje de combinación de agregado grueso del 58% y un porcentaje de arena de 42%.
6. La segunda mezcla de prueba realizada bajo la metodología de granulométrica Shilstone se obtuvo un valor de resistencia a la Flexión a 7 días de 40.57 kg/cm<sup>2</sup>, representando en porcentaje una ganancia de resistencia para  $M_R = 45$  kg/cm<sup>2</sup> de 90%. La mezcla presento un porcentaje de combinación de agregado grueso del 60% y un porcentaje de arena de 40%.
7. Los cuatro diseños fueron retomados para ser reproducidos como diseños definitivos esto debido al porcentaje de resistencia obtenido para la edad de 7 días el cual supera con facilidad el 80% de la resistencia requerida.

#### **ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

1. Al realizar el ensayo de revenimiento utilizando el cono de Abrams, para todas las mezclas de laboratorio se obtuvieron resultados de 3 pulg. y/o

valores que se encuentran dentro del rango de tolerancia del  $\pm 1$  pulg. especificado por la norma ASTM C 94.

2. La mezcla tanto para metodología granulométrica Fuller y Shilstone no presenta problema de alta temperatura, se obtuvieron valores en el rango de 29 °C a 32°C, valores menores y/o iguales a la temperatura máxima que recomienda la norma ASTM C 94 y el ACI 305.
3. Los pesos volumétricos de las mezclas en estado fresco para viguetas y cilindros que fueron elaborados con la metodología granulométrica Fuller varía entre los rangos de 2310 a 2342 kg/m<sup>3</sup> resultando un promedio de 2326 kg/m<sup>3</sup> y para viguetas y cilindros elaborados con la metodología granulométrica Shilstone varían en el rango de 2312 a 2336 kg/m<sup>3</sup> obteniéndose un promedio de 2324 kg/m<sup>3</sup>. La variación que existe de los pesos volumétricos de la metodología granulométrica Fuller con respecto a los de la metodología granulométrica Shilstone es de 2 kg/m<sup>3</sup>

## **ELABORACION DE ESPECIMENES**

8. El tiempo promedio de elaboración de dieciséis probetas prismáticas (6"X 6"X24") hechas bajo metodología granulométrica Fuller, fue de 120 min; mientras que para mezclas elaboradas bajo metodología granulométrica Shilstone fue de 90 min, determinándose que es más

práctico utilizar la metodología granulométrica Shilstone; estas mezclas presentan mayor trabajabilidad para ser manipuladas a nivel de laboratorio.

9. El tiempo promedio de elaboración de doce probetas cilíndricas (6"X12") hechas bajo metodología granulométrica Fuller, fue de 90 min; mientras que para mezclas elaboradas bajo metodología granulométrica Shilstone fue de 70 min, determinándose que es más práctico utilizar la metodología granulométrica Shilstone; estas mezclas presentan mayor trabajabilidad para ser manipuladas a nivel de laboratorio.
10. A partir de la experiencia obtenida en la realización del trabajo de laboratorio y la manipulación de las mezclas elaboradas puede determinarse que las mezclas Fuller son mezclas muy poco trabajables las cuales requieren de un esfuerzo mayor para lograr su consolidación, así mismo requiere de un mayor trabajo para lograr un buen acabado superficial. Mientras que las mezclas Shilstone, son mezclas que presentan un mayor grado de trabajabilidad y requieren menos esfuerzo para lograr su consolidación y acabado superficial comparas con las mezclas Fuller.

## ENSAYO AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

1. Comparando los pesos volumétricos obtenidos en ambas metodologías en estado endurecido, se determinó que existe una mínima variación de  $1.21 \text{ kg/m}^3$  en los resultados obtenidos con la metodología granulométrica Fuller sobre la metodología granulométrica Shilstone.
2. En el ensayo de resistencia a la Flexión bajo la Norma ASTM C 78 los resultados para viguetas elaborados bajo metodología Fuller a edad de 28 días son  $43.64 \text{ kg/cm}^2$  y  $52.55 \text{ kg/cm}^2$ , para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  y  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
3. En el ensayo de resistencia a la Flexión bajo la Norma ASTM C 78 los resultados obtenidos para viguetas elaboradas bajo metodología Shilstone a edad de 28 días manteniendo constante la relación A/C utilizadas en diseño de mezclas Fuller son  $47.39 \text{ kg/cm}^2$  y  $55.84 \text{ kg/cm}^2$
4. Los resultados de resistencia a la flexión de metodología Shilstone con respecto a los de metodología Fuller varían en  $3.75 \text{ kg/cm}^2$  para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ . Y para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  existe un variación de  $3.3 \text{ kg/cm}^2$  Por lo cual se determina que para ambas condiciones la metodología granulométrica Shilstone presenta mejores resultados de resistencia a la Flexión a edades de 28 días.
5. Se contó con un tamaño máximo nominal de agregado grueso de  $1 \frac{1}{2}''$ , por lo que se puede observar que al momento de fallar el espécimen en

el ensayo de Flexión el agregado no se fracturaba y por consiguiente fallaba el mortero más no el agregado grueso.

6. Debido a la muy estrecha diferencia entre ambas metodologías quedara a criterio de los experto la decisión sobre que metodología utilizar, tomando en cuenta las condiciones y disponibilidad de materiales locales.
7. La metodología granulométrica Shilstone presenta mejores resultados de resistencia a la Flexión a edades de 7 días en comparación a la metodología granulométrica Fuller, aunque a edades de 28 días los resultados presenten muy poca diferencia.
8. En el ensayo de resistencia a la compresión bajo la Norma ASTM C 39 los resultados para cilindros elaborados bajo metodología Fuller a edad de 28 días son de  $435.82 \text{ kg/cm}^2$  y  $500.71 \text{ kg/cm}^2$ , para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$  y  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
9. En el ensayo de resistencia a la compresión bajo la Norma ASTM C 39 los resultados obtenidos para cilindros elaborados bajo metodología Shilstone a edad de 28 días manteniendo constante la relación A/C utilizadas en diseño de mezclas Fuller son  $442.02 \text{ kg/cm}^2$  y  $506.50 \text{ kg/cm}^2$ .
10. Los resultados de resistencia a la compresión de metodología Shilstone con respecto a los de metodología Fuller varían en  $6.2 \text{ kg/cm}^2$  para  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ . Y para  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$  existe un variación de  $5.8 \text{ kg/cm}^2$ .

cm<sup>2</sup> Por lo cual se determina que para ambas condiciones la metodología granulométrica Shilstone presenta mejores resultados de resistencia a la compresión a edades de 28 días.

11. Los tipos de falla más común observados fueron el tipo 3 con un 64.6 % (debido al acabado superficial de los cilindros, por el uso de placas no adheribles), seguido del tipo 2 con un 32.3%. Realizando una sencilla relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, puede determinarse que la resistencia a la compresión puede obtenerse como 10 veces el valor del módulo de ruptura. ( $F'_c \cong 10M_R$ ).

## 7.3 RECOMENDACIONES

### GENERALES.

11. Cuando se desee realizar algún estudio referente a las metodologías granulométricas Fuller y Shilstone, 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.
12. Cuando se requiera elaborar especímenes de prueba a nivel de laboratorio para una mezcla con una consistencia determinada, en especímenes prismáticos y cilíndricos, se recomienda la metodología granulométrica Shilstone, ya que es una metodología que presenta un mayor grado de trabajabilidad comparada con la metodología granulométrica Fuller.
13. Para futuras investigaciones, es necesario realizar un número suficiente de ensayos (según el comité ACI 214 debe ser como mínimo 30 ensayos, para un adecuado control de calidad), para obtener resultados estadísticos que indique una buena confiabilidad en la variación de las mezclas elaboradas.

14. Cuando se lleve a cabo una investigación referente a este tipo de concreto, será necesario el estricto cumplimiento de las especificaciones granulométricas para obtener una calidad aceptable de las mezclas elaboradas, debiendo cumplir con las normas ASTM y ACI especificados.
15. Desarrollar estudios sobre las diferentes normativas de seguridad, el uso de equipo de protección personal a tomar en cuenta en la realización de trabajos a nivel de laboratorio tales como las OHS.

#### **SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.**

16. 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.
17. Las propiedades presente en el material cementante deberán cumplir con los requerimientos establecidos por la ASTM C 1157
18. Las Propiedad del agua a utilizar en la elaboración de la mezclas deberán cumplir con los requerimientos establecidos por la ASTM C 94 y ASTM C 1602.
19. Las caracterizas presente en el aditivo utilizado deberán ser las especificadas en la ASTM C 494, las cantidades utilizadas deberán ser

las recomendadas por el fabricante y/o según los estudios realizados a mezclas de prueba.

## **DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE BAJO METODOLOGÍA FULLER Y SHILSTONE.**

1. En esta investigación las proporciones utilizadas en los diseños de mezclas, 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.
2. Para obtener resistencias aproximadas a las descritas en esta investigación, y cuando se tienen materiales en similares condiciones, para una consistencia determinada en esta investigación, se recomienda utilizar como base los siguiente proporcionamiento para un metro cubico (Tablas 7.1 -7.4):

## METODOLOGÍA FULLER

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

MATERIAL	CANTIDAD
<b>Cemento</b>	375 kg.
<b>Agua</b>	185 kg.
<b>Aditivo</b>	1.5 lt.
<b>Grava #4</b>	492 kg.
<b>Grava #64</b>	739 kg.
<b>Arena</b>	537 kg.

Tabla 7.1: Proporcionamiento para 1 m<sup>3</sup> Fuller  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Los Autores.

$$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$$

MATERIAL	CANTIDAD
<b>Cemento</b>	450 kg.
<b>Agua</b>	180 kg.
<b>Aditivo</b>	2.5 lt.
<b>Grava #4</b>	488 kg.
<b>Grava #64</b>	732 kg.
<b>Arena</b>	512 kg.

Tabla 7.2: Proporcionamiento para 1 m<sup>3</sup> Fuller  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

## METODOLOGÍA SHILSTONE

$$M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$$

MATERIAL	CANTIDAD
<b>Cemento</b>	375 kg.
<b>Agua</b>	185 kg.
<b>Aditivo</b>	1.5 lt.
<b>Grava #4</b>	306 kg.
<b>Grava #64</b>	715 kg.
<b>Arena</b>	752 kg.

Tabla 7.3: Proporcionamiento para 1 m<sup>3</sup> Shilstone  $M_R = 37 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

$$M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$$

MATERIAL	CANTIDAD
<b>Cemento</b>	450 kg.
<b>Agua</b>	180 kg.
<b>Aditivo</b>	2.5 lt.
<b>Grava #4</b>	262 kg.
<b>Grava #64</b>	785 kg.
<b>Arena</b>	682 kg.

Tabla 7.3: Proporcionamiento para 1 m<sup>3</sup> Shilstone  $M_R = 45 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fuente: Propia

3. En la etapa del proporcionamiento de la mezcla para las metodologías en estudio, deben de realizarse diseños preliminares, para evaluar los parámetros de consistencia y resistencia a la flexión 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.
4. Se recomienda realizar investigaciones, para conocer el comportamiento de los métodos de dosificación Fuller y Shilstone, con otro tipo de cemento y agregados, para ello es necesario realizar otros diseños considerando los parámetros de resistencia, consistencia y acabado superficial de las probetas.
5. Para conocer mejor el comportamiento de la gráfica de resistencia a la Flexión vrs relación A/C, se deberán obtener varias relaciones A/C, y así poder determinar la tendencia que esta sigue.
6. Debido al estrecho margen de diferencia en resistencia entre ambas metodología y resultado la metodología Shilstone como una método que ofrece no solo mejores resultados de resistencia mecánica sino también de trabajabilidad y manipulación de la mezclas, será necesario para futuras investigación cumplir estrictamente con los requerimientos de distribución de agregados (Porcentajes Acumulados) que el autor

específica en su teoría. Por lo que será necesario la preparación manual de la granulometría Shilstone y así verificar si con estas condiciones las mezclas ofrecen un mayor margen en diferencia de resistencia mecánica.

### **ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS BAJO METODOLOGIAS GRANULOMETRICAS FULLER Y SHILSTONE.**

20. Se deben emplear los métodos adecuados para determinar las condiciones de humedad de los agregados, a fin de mantener las condiciones de diseño, evitar a las variaciones de agua, lo que genera cambios en las relaciones A/C.
21. Desarrollar procedimientos adecuados de mezclado, transporte, vaciado y colocación con las mezclas a fin de evitar la segregación, pues este tipo de mezclas poseen una cantidad alta de grava están propensas a segregarse.
22. Cuando se diseñen mezclas bajo metodología granulométrica Fuller que será manipuladas a nivel de laboratorio, puede utilizarse concretos con aire incluido para mejorar la trabajabilidad de las mezclas y facilitar su manipulación y acabado superficial.

## **CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

1. Para conocer a mayor profundidad el comportamiento de la mezclas en estado endurecido y conocer más sobre sus características se propone elaborar el ensayo de módulo de elasticidad estático bajo la ASTM C 469, el cual en la presente investigación por los desperfectos presentados en el equipo necesario para realizar le ensayo no pudo elaborarse.
2. Controlar algunos fenómenos característicos que presentaron las mezclas cuando fueron sometidas a cargas de tensión, sobre el desprendimiento del agregado grueso como resultado de utilizar un tamaño máximo nominal de agregado grueso de grandes dimensiones.
3. 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). Aun cuando para este rango de resistencia este permitido el uso de placas no adheribles.
4. Cuando se realiza una investigación en la cual se desee conocer la evolución de la ganancia de resistencia con respecto al tiempo, elaborar especímenes de prueba de una misma mezcla para las edades de

ensayo necesarias y evitar así variaciones en los resultados de resistencia.

5. Las características observadas y medidas de las mezclas en estudio fueron determinadas a nivel de laboratorio, para complementar la investigación serán necesario determinar el comportamiento de las mezclas a nivel de campo, realizando las respectivas pruebas industriales así como la realización de tramos de prueba.
6. Desarrollar investigaciones donde se elabora un análisis comparativo en la determinación de más características entre ambas metodologías, tales contracciones por secado y tiempo de fraguado con la utilización de una aditivo específico.

# **GLOSARIO**

- **ACI:** Instituto Americano del Concreto.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **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:** 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:** Parte de un agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- **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.
- **Carta Shilstone:** Carta utilizada para predecir las características de la mezcla concreto

- **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.
- **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 los moldes.
- **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.
- **Consistencia:** Habilidad relativa de un concreto recién mezclado de fluir.
- **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.

- **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.
- **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.
- **Factor de Grosor:** es el porcentaje de material acumulado retenido en la malla de 9.5 mm (3/8”), dividida por el material acumulado retenido en la malla de 2.36 mm (N° 8) multiplicado por 100.
- **Factor de Trabajabilidad:** es el porcentaje de material pasando la malla de 2.36 mm (N° 8).
- **Finos:** Material pasante de la malla N° 200.
- **Fuller:** Metodología de dosificación clásica utilizada para la optimizar los beneficios de la granulometría, desarrollada en el año 1907
- **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.

- **Granulometría integral:** Análisis de la distribución combinada de al menos tres agregados (dos gruesos y un fino).
- **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  $\mu\text{m}$  (No. 100), de 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), de 600  $\mu\text{m}$  (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 (11/2 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.
- **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 Flexión:** Se puede definir como la máxima resistencia a tensión medida en un espécimen prismático de concreto a cargado al tercio medio o al centro del espécimen. Generalmente se expresa en

Kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo  $M_R$ .

- **Resistencia a la Compresión:** Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen cilíndrico de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en Kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) 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.
- **Shilstone:** Metodología de dosificación utilizada para la optimizar los beneficios de la granulometría (1990).
- **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.
- **Trabajabilidad del concreto:** Propiedad del concreto que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado, consolidado, y acabado.

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**LIBROS DE TEXTO:**

- Joseth J. Waddell; Joseph A. Dobrowolski, **“Manual de la construcción con concreto”**. Tomo I. Concrete Construction Handbook (2001)
  
- Ing. Jorge Coronado Iturbide, **“Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos”**. Noviembre 2002
  
- Adam M. Neville, **“Tecnología del Concreto, Tomo I Y II”** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C. (1997).
  
- Thomas D. Larzon **“Concreto de Cemento Pórtland y Asfálticos”** Compañía Editorial continental. México.
  
- **“Manual del Concreto, Instructivo para Concreto”** Secretaria de Recursos Hidráulicos. México, (1967- 1970).
  
- **“Proyecto y Control de Mezclas de Concreto”** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (IMCYC). México (1992).

- **“Diseño y Control de Mezclas de Concreto”** Portland Cement Association (PCA).

#### **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).
- Jorge Alberto Rugamas Dinarte, **“Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).
- Merlín Olimpia Baños Sánchez, **“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”**. Trabajo de

graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).

- Pedro Heriberto Laínez Cruz, **“Influencia del uso de micro sílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia”**. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).
  
- Selvin Ademir Alvarado Funes, **“comportamiento del concreto en climas tropicales para las principales zonas 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 (2009).
  
- Adolfo Mendoza Álvarez, **“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).

**REVISTAS:**

- Revista de la Federal Highway Administration, “**Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State of the Practice Manual**”. December 2007
  
- Revista N° 48 del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), “**Estimando las características del concreto de una granulometría combinada**”. Traducción libre del inglés de la publicación técnica de ACPA TB016.01P efectuada con fines educativos

**COMITES:**

- **ACI 211.1** State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity.
  
- **ACI 214** Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results.
  
- **ACI 305** Hot Weather Concreting.
  
- **ACI 302** Guide for Concrete Floor and Slab Construction.

**NORMAS:**

- **ASTM C 29** Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.
- **ASTM C 33** Standard Specification for Concrete Aggregates.
- **ASTM C 39** Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- **ASTM C 40** Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- **ASTM C 70** Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate.
- **ASTM C 78** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- **ASTM C 88** Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.

- **ASTM C 91** Standard Specification for Masonry Cement.
  
- **ASTM C 94** Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
  
- **ASTM C 109** Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
  
- **ASTM C 127** Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
  
- **ASTM C 128** Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.
  
- **ASTM C 131** Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
  
- **ASTM C 136** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
  
- **ASTM C 138** Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

- **ASTM C 143** Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
  
- **ASTM C 150** Standard Specification for Portland Cement.
  
- **ASTM C 151** Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement.
  
- **ASTM C 187** Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement.
  
- **ASTM C 188** Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
  
- **ASTM C 191** Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.
  
- **ASTM C 192** Standard Practices for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
  
- **ASTM C 204** Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus.

- **ASTM C 227** Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).
  
- **ASTM C 289** Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
  
- **ASTM C 295** Standard Guides for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
  
- **ASTM C 494** Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete.
  
- **ASTM C 566** Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
  
- **ASTM C 586** Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method).
  
- **ASTM C 595** Standard Specifications for Blended Hydraulic Cements.
  
- **ASTM C 856** Standard Practices for Petrographic Examination of Hardened Concrete.

- **ASTM C 617** Standar practice for capping cylinders concrete specimens.
- **ASTM C 1064** Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete.
- **ASTM C 1157** Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.
- **ASTM C 1231** Standar practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders.
- **ASTM C 1602** Standar specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete.
- **ASTM D 75** Standard Practice for Sampling Aggregates.
- **ASTM D 4791** Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate.

#### **OTRAS FUENTES:**

- Folletos de clases, “**Tecnología del concreto**”. Universidad de El Salvador 2,012, Autor: Ing. Lesly Mendoza.

**ANEXOS**

**ANEXOS A:**

**CARTA DE CALIDAD DEL  
CEMENTO TIPO HE ASTM C 1157**



Holcim El Salvador, S.A. de C.V. Tel: +503 2506-0000  
 Ave. El Espino y calle Holcim Fax +503 2506-0777  
 Madrevea, Antiguo Cuscatlán www.holcim.com.sv  
 La Libertad, El Salvador.

Formato LC-F-156, Revisión 3  
 Ref. CESSAPAV 07- 2013 Rev. 0

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) C 1157-08, Tipo HE. Este cemento, durante la fecha comprendida del 1 al 31 de Julio del 2013 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**Tabla 1. Requerimientos Físicos y Químicos**

Determinación	ASTM C 1157-08 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	133
Resistencia 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. ... ...	2,140 3,480 4,120 4,980
Contenido de aire del mortero, (% Vol.) (B) (ASTM C 185)	...	5
Fineza Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (B) (ASTM C 204)	...	4,440
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%) (B)	...	2.4
Requerimiento de Agua (%) (ASTM C 109)	...	49.7
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.	-0.01

A: Este dato promedio es de 28 días antes de la fecha del resto de valores, pues es el valor más reciente.  
 B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe reportarse.

Metapán, a los doce días del mes de Agosto del año dos mil trece.

  
 Ing. Roberto Guandique  
 Gerente de Control de Calidad.



Nota: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de la empresa

Fortaleza. Desempeño. Pasión.

**ANEXOS B:**

**ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS**

**AGREGADOS**

**RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO  
 POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES  
 ASTM C 535**

**PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV.  
 LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).**

**SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.**

**MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1 ½".**

**PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.**

**FECHA DE ENSAYO: 29 DE AGOSTO DE 2013.**

Muestra	*GRAVA
Ensayo de Graduación	3
Peso Inicial ( grs. )	10,030.0
Peso Retenido en malla No 12 ( grs. )	9030.0
Pérdida ( grs. )	1000.0
Pérdida en % de la Masa ( Desgaste )	10.0

Observaciones: Material proporcionado por el solicitante.

Atentamente,

  
 Ing. Néstor Cárcamo Reyes  
 Jefe Depto. Control de Calidad de Materiales  
 SUELOS Y MATERIALES, S.A. DE C.V.  
 San Salvador, El Salvador, C.A.

iales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS  
ASTM C 142**

**PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).**

**SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.**

**MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1 ½".**

**PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.**

**FECHA DE ENSAYO: 30 DE AGOSTO DE 2013.**

**RESULTADO DE LABORATORIO**

<b>AGREGADO GRUESO</b>			
<b>Muestra de ensayo</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzable (%)</b>
Pasa 3/8" - Ret. No 4			
Pasa 3/4" - Ret. 3/8"	2058.0	2046.6	0.55
Pasa 1 1/2" - Ret. 3/4"	3047.9	3033.4	0.48
Mayor que 1 1/2"	---	---	---
		<b>TOTAL</b>	<b>1.03</b>

<b>AGREGADO FINO</b>			
<b>Muestra de ensayo</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzable (%)</b>
Pasa No 4 - Ret. No 16	---	---	---

OBSERVACIONES: Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**ENSAYO DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS  
ASTM D-4791**

PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1 ½".

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 29 DE AGOSTO DE 2013.

RELACIÓN UTILIZADA: 1:3

Mallas		Peso (g)	Planas (g)	% que pasa malla	Alargadas (g)	% que pasa malla
Pasa	Retenido					
1 1/2"	1"	1542.8	77.9	3.5	0	0.0
1"	3/4"	679.3	18.2	0.8	0	0.0
3/4"	1/2"	0.0	---	---	0	0.0
1/2"	3/8"	0.0	---	---	---	---
Total		2222.1	96.1			
% de Partículas				4.3		0.0

Mallas		Peso (g)	Planas y Alargadas (g)	% que pasa malla	No cumple ninguno (g)	% que pasa malla
Pasa	Retenido					
1 1/2"	1"	1542.8	0.0	0.0	1464.9	65.9
1"	3/4"	679.3	39.4	1.8	621.7	28.0
3/4"	1/2"	0.0	---	---	---	---
1/2"	3/8"	0.0	---	---	---	---
Total		2222.1				
% de Partículas				1.8		93.9

% PARTICULAS PLANAS = 4.0  
 % PARTICULAS ALARGADAS = 0.0  
 % PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS = 2.0  
 % PARTICULAS NO PLANAS NI ALARGADAS = 94.0

OBSERVACIONES : Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
 Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS  
EN EL AGREGADO GRUESO, ASTM D 5821**

PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1 ½".

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 30 DE AGOSTO DE 2013.

RESULTADOS DE LABORATORIO				
Material retenido sobre tamiz	Peso total de muestra ensayada (g)	Partículas con 1 o más caras fracturadas (g) "F"	Partículas que no cumplen criterio (g) "N"	Partículas con caras fracturadas "P" (% por peso)
No 4	9025.00	9003.00	22.00	99.8

**% CARAS FRACTURADAS = 100.0 %**

Donde: P = Partículas con caras fracturadas (%)  
F = Partículas con 1 o más caras fracturadas.  
N = Partículas que no cumplen criterio.

OBSERVACIONES : Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO  
POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES  
ASTM C 131**

**PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).**

**SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.**

**MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1".**

**PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.**

**FECHA DE ENSAYO: 28 DE AGOSTO DE 2013.**

Muestra	*GRAVA
Ensayo de Graduación	B
Peso Inicial ( grs. )	5,000.0
Peso Retenido en malla No 12 ( grs. )	4360.0
Perdida ( grs. )	640.0
Perdida en % de la Masa ( Desgaste )	13.0

Observaciones: Material proporcionado por el solicitante.

Atentamente,

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes.

Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS  
ASTM C 142**

PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1".

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 29 DE AGOSTO DE 2013.

**RESULTADO DE LABORATORIO**

AGREGADO GRUESO			
Muestra de ensayo	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzable (%)
Pasa 3/8" - Ret. No 4	1003.8	999.6	0.42
Pasa 3/4" - Ret. 3/8"	2004.9	1999.8	0.25
Pasa 1 1/2" - Ret. 3/4"	---	---	---
Mayor que 1 1/2"	---	---	---
<b>TOTAL</b>			<b>0.67</b>

AGREGADO FINO			
Muestra de ensayo	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzable (%)
Pasa No 4 - Ret. No 16	---	---	---

OBSERVACIONES: Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**INDICE DE DURABILIDAD EN AGREGADOS PÉTREOS ASTM D 3744**

PROYECTO : MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1.

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 28 DE AGOSTO DE 2013.

**REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	METODO	ALTURA SEDIMENTO	INDICE DE DURABILIDAD
GRAVA	A	0.0	100.0
		0.1	96.4
		Promedio	98.2

ÍNDICE DE DURABILIDAD= 98.0 %

FORMULA EMPLEADA PARA AGREGADOS GRUESOS:  $ID = 30.3 + 20.8 \cot(0.29 + 0.15 H)$  rad.

Altura H en pulgadas.

OBSERVACIONES : Material proporcionado por el solicitante.

Atentamente,

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**ENSAYO DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS  
ASTM D-4791**

PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1".

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 29 DE AGOSTO DE 2013.

RELACIÓN UTILIZADA: 1:3

Mallas		Peso (g)	Planas (g)	% que pasa malla	Alargadas (g)	% que pasa malla
Pasa	Retenido					
3/4"	1/2"	379.4	12.2	1.8	0	0.0
1/2"	3/8"	164.2	5.8	0.9	0	0.0
3/8"	No 4	127.3	4.5	0.7	0	0.0
No 4	No 8	0.0	---	---	---	---
Total		670.9	22.5			
% de Partículas				3.4		0.0

Mallas		Peso (g)	Planas y Alargadas (g)	% que pasa malla	No cumple ninguno (g)	% que pasa malla
Pasa	Retenido					
3/4"	1/2"	379.4	10.0	1.5	357.2	53.2
1/2"	3/8"	164.2	24.2	3.6	134.2	20.0
3/8"	No 4	127.3	12.3	1.8	110.5	16.5
No 4	No 8	0.0	---	---	---	---
Total		670.9				
% de Partículas				6.9		89.7

% PARTICULAS PLANAS = 3.0  
 % PARTICULAS ALARGADAS = 0.0  
 % PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS = 7.0  
 % PARTICULAS NO PLANAS NI ALARGADAS = 90.0

OBSERVACIONES : Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
 Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS  
EN EL AGREGADO GRUESO, ASTM D 5821**

PROYECTO: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: GRAVA 1".

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

FECHA DE ENSAYO: 30 DE AGOSTO DE 2013.

RESULTADOS DE LABORATORIO				
Material retenido sobre tamiz	Peso total de muestra ensayada (g)	Partículas con 1 o más caras fracturadas (g) "F"	Partículas que no cumplen criterio (g) "N"	Partículas con caras fracturadas "P" (% por peso)
No 4	4253.00	4253.00	0.00	100.0

% CARAS FRACTURADAS = 100.0 %

Donde: P = Partículas con caras fracturadas (%)  
F = Partículas con 1 o más caras fracturadas.  
N = Partículas que no cumplen criterio.

OBSERVACIONES : Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y VACIOS EN AGREGADO  
ASTM C-29**

PROYECTO : MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: ARENA.

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: RÍO TIHUAPA.

FECHA DE ENSAYO: 29 DE AGOSTO DE 2013.

**METODO SUELTO**

ENSAYO No.		1	2	3	4
Peso de molde	g	1670	1670	1670	1670
Peso de molde + material	g	5495	5492	5500	5520
Peso de material	g	3,825	3,822	3,830	3,850
Volumen del molde	m <sup>3</sup>	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282
Peso volumétrico suelto	kg/m <sup>3</sup>	1,355	1,354	1,357	1,364
Promedio	kg/m <sup>3</sup>	1357			

**METODO VARILLADO**

ENSAYO No.		1	2	3	4
Peso de molde	g	1670	1670	1670	1670
Peso de molde + material	g	5967	5997	5985	5980
Peso de material	g	4,297	4,327	4,315	4,310
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282
Peso volumétrico suelto	kg/m <sup>3</sup>	1,522	1,533	1,529	1,527
Promedio	kg/m <sup>3</sup>	1528			

OBSERVACIONES: Material proporcionado por el solicitante.

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales



**suelos y materiales, s.a. de c.v.**

Consultoría en diseño y supervisión de obras, estudios de suelos y control de calidad de materiales

**ÍNDICE DE DURABILIDAD EN AGREGADOS PÉTREOS ASTM D 3744**

PROYECTO : MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA01W TRAMO: INTERSECCIÓN AV. LA REVOLUCIÓN – LAS DELICIAS (TRAMO I).

SOLICITANTE: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MATERIAL DE ENSAYO: ARENA.

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: RÍO TIHUAPA.

FECHA DE ENSAYO: 28 DE AGOSTO DE 2013.

MUESTRA No	Lectura de arcilla	Lectura de arena	ÍNDICE DE DURABILIDAD
1	9.1	8.6	94.5%
2	10.0	9.3	92.8%
		PROMEDIO	93.7%

ÍNDICE DE DURABILIDAD= 94 %

OBSERVACIONES: Material proporcionado por el solicitante.

Material que pasa la malla No 4 (Agregado Fino).

Ing. Néstor Enrique Cárcamo Reyes  
Jefe del Depto. de Control de Calidad de Materiales

**ANEXOS C:**  
**CARTA TÉCNICA DEL ADITIVO**

# EUCON RA 1000

REDUCTOR DE AGUA / EXTENDIDA TRABAJABILIDAD

## DESCRIPCIÓN

**EUCONRA 1000** es un aditivo plastificante, reductor de agua con trabajabilidad extendida para concreto. Su uso mejora las mezclas de concreto, haciéndolas más plásticas y fluidas y manteniendo el tiempo de trabajabilidad. Cumple con ASTM C-494 tipo B y "D". Este aditivo no contiene cloruros adicionales.

## APLICACIONES PRINCIPALES

El **EUCON RA 1000** se utiliza principalmente en concretos que requieren de alta trabajabilidad: bombeo a grandes distancias, horizontales y verticales, e estructuras estrechas y/o densamente armadas. Se utiliza como reductor de agua o como fluidizante.

- A) Como reductor de agua: adicionándose al agua de mezcla de 5 a 9 mL/kg de cemento se obtienen reducciones de hasta un 8% del agua de mezclado.  
La dosificación exacta deberá determinarse con los materiales y en las condiciones del lugar de la obra.
- B) Cuando se emplea en zonas calidas donde prolongar la trabajabilidad del concreto es necesario sin incurrir en redosificación que alteren de manera significativa los tiempos de fraguado emplear de 3 a 9 mL/kg
- C) Cuando se emplee como fluidizante, agregar a pie de obra de 3 a 5 mL por cada kg de cemento previa dosificación en planta del mismo **EUCON RA 1000**

Dosificación	
Temperatura ambiente al mezclar EL CONCRETO 0° C	Dosificación mL/kg cemento
20 - 30	5 - 7
mayor de 30	7 - 9

La dosis requerida variará de acuerdo al revenimiento deseado, trabajabilidad requerida y la temperatura ambiente.

D) El **EUCON RA 1000** es compatible con otros aditivos de Euclid Chemical Company, sin embargo, cada aditivo debe añadirse por separado.

## BENEFICIOS

- Reduce la cantidad de agua de mezcla hasta un 8 %.
- Aumenta la resistencia a la compresión a 28 días alrededor del 10 %.
- Mejora de manera importante la trabajabilidad y facilita el acabado.
- Facilita el bombeo del concreto.
- Reduce la segregación y el sangrado.
- Reduce la permeabilidad.
- Aumenta la durabilidad.

**Nota:** Para mayor información sobre este producto diríjase al Departamento de Atención a Clientes, The Euclid Chemical Company México o a su Asesor Técnico - Comercial en la Región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplican o por efectos de la variación de la temperatura y otras acciones. Por ello recomendamos hacer pruebas repetidas previas a su empleo en gran escala. The Euclid Chemical Company se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto en condiciones que no están bajo su control directo. La única garantía sobre los productos Euclid, fabricados o comercializados por The Euclid Chemical Company, se describe en la página 1 de este catálogo.

Esta ficha técnica anula y sustituye a todas las versiones anteriores y tiene vigencia a partir del 1 de Junio de 2009 y vence el 31 de Mayo del 2010

#### APARIENCIA

- Solución líquida a base de lignosulfonatos modificados
- Color café obscuro.
- Gravedad específica 1.21.
- pH 4.5 – 8.5.

#### ENVASE

- A Granel
- Cubeta de 19 L.
- Tambores de 200 L.

Se recomienda mantener el aditivo siempre tapado en los tanques y tambos que Euclid Chemical provee.

#### PRECAUCIONES/RESTRICCIONES

- El empleo de **EUCON RA 1000** en dosificaciones mayores a las recomendadas puede ocasionar retardo en el fraguado del concreto que no afecta la resistencia final.
- La elaboración de concreto o mortero fluido con **EUCON RA 1000** exige una buena distribución granulométrica y un contenido de finos suficiente para lograr mezclas cohesivas con buena trabajabilidad.
- El uso de concreto fluido demanda especial supervisión en el sellado de las cimbras para evitar pérdida de pasta.
- El concreto con **EUCON RA 1000** requiere de la misma práctica y supervisión en la colocación, acabado y curado que la indicada por las prácticas recomendadas por el ACI (American Concrete Institute) para concreto.
- La permanencia del efecto de fluidez se mantiene de 60 a 90 minutos. Se recomienda iniciar el curado del concreto tan pronto como desaparezca el agua de exudación del concreto o mortero, cuya detección es fácil por el cambio de aspecto de la superficie de concreto de brillante a mate. La membrana de curado debe ser de buena calidad y su aplicación debe ser oportuna sobre la superficie del concreto con un buen acabado ya concluido.
- Usar guantes de hule y gafas de seguridad durante su manipulación.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y la temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto variando resultados en el concreto fresco o endurecido. En coordinación con el Asesor Técnico Comercial Euclid-México de la región, es fundamental efectuar pruebas de desempeño de los aditivos bajo las condiciones propias de cada obra. De ésta manera, se podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestros clientes.
- Agite el producto antes de usar.
- El producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.

Vida útil: 12 meses en el envase original cerrado



EUCLJD CHEMICAL

The Euclid Chemical Company  
01 800 8 EUCUID, Centro (55) 5864 9970  
Norte (81) 8048 0810, Occidente (33) 3633 6031  
[www.euclidmex.com.mx](http://www.euclidmex.com.mx)



Sistema de Calidad Certificado  
ISO 9001:2008  
U-A12147

**ANEXOS D:**  
**FOTOGRAFÍAS TRABAJO DE**  
**LABORATORIO**



Ensayo de Revenimiento (1), Elaboración de Mezclas (2), Muestreo del concreto fresco (3), Ensayo de Temperatura (4)



Elaboración de Especímenes (1,2); Curado de especímenes (3,4)



Ensayo de resistencia a la Flexión (1,2); Ensayo de resistencia a la compresión