

**Optimización De Los Materiales Para Hormigones De Alta Resistencia
Comprendidos Entre
4000 Psi (28mpa) – 6000 Psi (42 Mpa), Sin Aditivos**

**ANDERSON JOSÉ MURILLO ROJAS
EDWIN YESID SALAMANCA GONZALEZ
HELEN JOHANNA LOZANO TORRES**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2006**

**Optimización De Los Materiales Para Hormigones De Alta Resistencia
Comprendidos Entre
4000 Psi (28mpa) – 6000 Psi (42 Mpa), Sin Aditivos**

**ANDERSON JOSÉ MURILLO ROJAS
EDWIN YESID SALAMANCA GONZALEZ
HELEN JOHANNA LOZANO TORRES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director temático
Ing. Jaime Galvis**

**Asesora metodológica
Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2006**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 01 de NOVIEMBRE del año 2006

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico especialmente a tres amigos muy especiales que tengo que son Dios por darme los días y la paciencia, a mi papá ANDERSON MURILLO ARTEAGA que por su esfuerzo y su lucha diaria me a dado el estudio y a mi mamá MARY ROJAS AVILES por acompañarme en todas mis decisiones sean buenas o malas, creo que no tendré la forma ni el tiempo para agradecerles a ellos el haberme apoyado para llevar a cabo la principal meta de ser un profesional y en especial ser la persona que soy hoy en la vida.

ANDERSON JOSE MURILLO ROJAS

DEDICATORIA

En este momento de alegría doy gracias a Dios, a mis padres NELSY GONZALEZ DE SALAMANCA y JULIO CESAR SALAMANCA GARCIA y mis hermanos por brindarme todo el apoyo necesario para realizar una de las metas propuestas en mi vida, y a todas aquellas personas que confiaron en mí y siempre estuvieron presentes en el momento que los necesite.

EDWIN YESID SALAMANCA GONZALEZ

DEDICATORIA

En este momento de mi vida, quiero dedicar el proyecto a las personas que a través del tiempo que he durado en la universidad me han apoyado y han hecho que este logro se haga realidad: a mis padres GLADYS CECILIA TORRES SANABRIA Y ARMANDO LOZANO TORRES, ellos han hecho de mí la persona que soy hoy, me han ofrecido el amor, la confianza y el respeto, y sobre todo me enseñaron valores que me engrandecieron como persona; a mi hermana YINNETH SONIA ACEVEDO TORRES, quien ha sido una excelente guía y apoyo, he aprendido a través de ella a reconocer errores para seguir un camino de rectitud, a mi hermana JENNY ANDREA LOZANO TORRES, que con su compañía, confianza y respaldo me ha llevado a valorar las cosas que me han dado, para poder sacar el mejor provecho a cada una de ellas. También, quiero agradecer el apoyo de MARIO FERNANDO RODRIGUEZ MORENO, que con su conocimiento me incentivó a culminar esta meta.

HELEN JOHANNA LOZANO TORRES

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento:

A el Ing. JAIME GALVIS LINARES, por su colaboración en la consecución del proyecto de grado y por sus conocimientos que nos fueron de gran ayuda para culminar con éxito esta tarea.

A la Mag. ROSA AMPARO RUIZ SARAY quien nos aportó su experiencia y conocimientos en el campo de la investigación.

A el encargado del laboratorio JOSE LUIS ROZZO por su colaboración prestada en los momentos apremiantes de la investigación.

A las directivas y profesores de la Universidad de La Salle por crear espacios académicos que nos posibilitaron el acceso al conocimiento.

INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más utilizados en el campo de la ingeniería civil es el concreto hidráulico que está compuesto de cemento, agregados finos, agregado gruesos, agua y alguna cantidad de aire atrapado, el cual fue objeto de estudio dentro de la investigación, en esta se busco la no-utilización de aditivos, con el fin de obtener unas resistencias de 4000 PSI a 6000 PSI y de esta manera se obtuvo una alternativa que cumplió con los requerimientos técnicos, económicos y de calidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PROBLEMA	18
1.1 LÍNEA	18
1.2 TITULO	18
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.5 JUSTIFICACIÓN	22
1.6 OBJETIVOS	23
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1 MARCO TEÓRICO	24
2.2 MARCO CONCEPTUAL	45
2.3 MARCO CONTEXTUAL	55
2.4 MARCO NORMATIVO	54
3. METODOLOGÍA	80
3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	80
3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	80
3.2.1 Fase I: Recopilación Información y selección De Los Materiales	80
3.2.2 Fase II: Desarrollo De Las Practicas De Laboratorio	81
3.2.3 Fase III: Diseño De La Mezcla De Concreto	82
3.2.4 Fase IV: Análisis De Resultado	82
3.2.5 Fase V: Ejecución Del Diseño	82
3.3 OBJETO DE ESTUDIO	83

3.4 VARIABLES	83
3.5 HIPÓTESIS	84
4. DESARROLLO INGENIERIL	85
4.1 FASE I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES	85
4.1.1 Ubicación De Las Fuentes De Material	85
4.2. FASE II: DESARROLLO DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIO	86
4.2.1 Agregados Finos Y Gruesos	86
4.2.1.1 Peso Especifico	86
4.2.1.2 Peso Unitario	94
4.2.1.3 Granulometría	101
4.2.1.4 Desgaste En La Maquina De Los Ángeles	109
4.2.1.5 Determinación Del Contenido De Humedad Total	111
4.2.2 Cemento	112
4.2.2.1 Laboratorio Del Peso Especifico	112
4.2.2.2 Porcentaje De Finura	114
4.2.3 Pasta De Cemento	115
4.2.3.1 Consistencia Normal Del Cemento	115
4.2.3.2 Tiempos De Fraguado Por Medio Del Aparato De Gillmore	117
4.2.3.3 Tiempos De Fraguado Por El Aparato De Vicat	119
4.2.4 Morteros	120
4.2.4.1 Tracción De Briquetas	120
4.2.4.2 Compresión De Cubos	127
4.3 FASE III: DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO	130
4.3.1 Determinación De La Resistencia De Diseño	130
4.3.2 Análisis E Interpretación De Resultados	149
5. COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN	171
5.1 RECURSOS MATERIALES	171
5.2 RECURSOS INSTITUCIONALES	171
5.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS	171
5.4 RECURSOS HUMANOS	172

5.5 RECURSOS DE TRANSPORTE	172
5.6 RECURSOS FINANCIEROS	173
6. CONCLUSIONES	174

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estado del arte	21
Tabla 2. Serie Americana de Tamices	32
Tabla 3. Clasificación de los agregados gruesos	35
Tabla 4. Tipos De Vibración Para La Colocación Del Concreto	43
Tabla 5. Normas ICONTEC	55
Tabla 6. Dimensiones para los recipientes	65
Tabla 7. Características De Las Esferas	69
Tabla 8. Clasificación de la gradación	70
Tabla 9. Condiciones del Aparato de Vicat	73
Tabla 10. Variables objeto de estudio	83
Tabla 11. Arena sin lavar y lavada por el tamiz 200	103
Tabla 12. Grava sin lavar y lavada por el tamiz 200	105
Tabla 13. Tiempos de fraguado de Vicat	120
Tabla 14. Porcentaje de fluidez y porcentaje de agua	124
Tabla 15. Resistencia de las briquetas	126
Tabla 16. Resistencia de los cubos a la compresión	129
Tabla 17. Datos de entrada.	131
Tabla 18. Granulometría	131

Tabla 19.	Granulometría de los agregados gruesos	134
Tabla 20.	Granulometría de agregados finos	135
Tabla 21.	Resistencia requerida	136
Tabla 22.	Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua – cemento para los cementos colombianos, Pórtland tipo I, en concreto sin aire incluido	136
Tabla 23.	Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación	137
Tabla 24.	Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido	137
Tabla 25.	Optimización de la granulometría	138
Tabla 26.	Dosificación del diseño de mezcla	139
Tabla 27.	Granulometría de los agregados gruesos	141
Tabla 28.	Granulometría de agregados finos	141
Tabla 29.	Optimización de la granulometría	142
Tabla 30.	Dosificación del diseño de mezcla	145
Tabla 31.	Resistencia de cilindros	154
Tabla 32.	Comparación de resistencia de 4000 PSI	165
Tabla 33.	Comparación de resistencia de 5000 PSI	166

Tabla 34.	Comparación de costos para 4000 PSI	167
Tabla 35.	Análisis unitario de costos para mezcla de 4000 PSI convencional	167
Tabla 36.	Análisis unitario de costos para mezcla de prueba para 4000 PSI	167
Tabla 37.	Comparación de costos para 5000 PSI	168
Tabla 38.	Análisis unitario de costos para mezcla de 5000 PSI convencional	169
Tabla 39.	Análisis unitario de costos para mezcla de prueba para 5000 PSI	169
Tabla 40.	Recursos materiales	171
Tabla 41.	Recursos Institucionales	171
Tabla 42.	Recursos tecnológicos	171
Tabla 43.	Recursos Humanos	172
Tabla 44.	Recurso transporte	172
Tabla 45.	Recursos financieros	173

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación Esquemática de la Porosidad	25
Figura 2. Representación Esquemática de la Porosidad Reducida	26
Figura 3. Influencia del Curado Húmedo en la Resistencia	30
Figura 4. Desarrollo de la Resistencia en el Tiempo de un Hormigón con Cemento Pórtland Normal	31
Figura 5. Estructura interna de los agregados en el hormigón	38
Figura 6. Aparato de Vicat	78
Figura 7. Secado del material en una estufa	86
Figura 8. Secado del material con un secador	87
Figura 9. Molde y vástago	87
Figura 10. Obtención del peso sumergido	88
Figura 11. Secado del agregado grueso	91
Figura 12. Obtención del peso sumergido	92
Figura 13. Apisonado del agregado	95
Figura 14. Obtención del peso vibrado	96
Figura 15. Llenado del molde	96
Figura 16. Serie de tamices	102
Figura 17. Material seleccionado	104
Figura 18. Serie de tamices	104
Figura 19. Maquina de los ángeles	110
Figura 20. Esferas de la maquina de los ángeles	110
Figura 21. Toma del peso del material	111
Figura 22. Cemento tamizado por el # 30	113

Figura 23.	Frasco de L`CHATELIER	113
Figura 24.	Cemento Pórtland tipo 1	114
Figura 25.	Proceso de mezclado	116
Figura 26.	Conjunto (pasta y plaqueta)	116
Figura 27.	Aparato de Gillmore	118
Figura 28.	Fraguado final	118
Figura 29.	Aparato de Vicat	119
Figura 30.	Dimensiones de la briqueta	121
Figura 31.	Amasado de la mezcla	122
Figura 32.	Mesa de flujo	123
Figura 33.	Llenado de los moldes	125
Figura 34.	Falla de briqueta en la maquina universal	125
Figura 35.	Falla de la briqueta por tracción	126
Figura 36.	Mezclas en los moldes de cubos	128
Figura 37.	Proceso de llenado de los cubos	128
Figura 38.	Lectura de la falla de los cubos	129
Figura 39.	Compresión con la varilla	146
Figura 40.	Prueba de Slump	146
Figura 41.	Molde cónico	147
Figura 42.	Mezcla del agregado y el cemento	147
Figura 43.	Cilindro vaciado con concreto	148

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Grava sin lavar	106
Gráfico 2. Grava lavada	107
Gráfico 3. Resistencia a la tracción	127
Gráfico 4. Resistencia a la compresión	130
Gráfico 5. Diseño de 6000 PSI método grafico tabla de Bolomay	143
Gráfico 6. Peso específico	149
Gráfico 7. Densidad aparente	150
Gráfico 8. Absorción del agregado grueso	151
Gráfico 9. Absorción del agregado fino	152
Gráfico 10. Pesos unitarios	153
Gráfico 11. Cantidad de cemento de 4000 PSI, 28 Mpa	154
Gráfico 12. Cantidad de cemento de 5000 PSI	155
Gráfico 13. Cantidad de arena de 4000 PSI	156
Gráfico 14. Cantidad de arena de 5000 PSI	157
Gráfico 15. Cantidad de grava de 4000 PSI	158
Gráfico 16. Cantidad de grava de 5000 PSI	159
Gráfico 17. Cantidad de agua de 4000 PSI	160
Gráfico 18. Cantidad de agua de 5000 PSI	161
Gráfico 19. Eficiencia del cemento	162
Gráfico 20. Correlación de 4000 PSI	163
Gráfico 21. Correlación de 5000 PSI	164
Gráfico 22. Prueba de diseño de 4000 PSI	165
Gráfico 23. Resistencia de diseño convencional de 5000 PSI	166
Gráfico 24. Costo del diseño convencional de 4000 PSI	168
Gráfico 25. Costo del diseño convencional de 5000 PSI	169

1. EL PROBLEMA

1.1 LÍNEA

El trabajo de grado pertenece al grupo de investigación instituto de desarrollo tecnológico, INDETEC y corresponde a la línea de comportamiento de estructuras especiales establecidas por La Facultad de Ingeniería Civil.

Siendo la ingeniería un paso fundamental al paso tecnológico a nivel nacional e internacional se hizo absolutamente necesario investigar y desarrollar la optimización de los materiales para hormigones de alta resistencia comprendidos entre 4000 Psi (28 Mpa) – 6000 Psi (42 Mpa), sin aditivos. Lo principal es contribuir con el desarrollo nacional e internacional a nivel productivo.

1.2 TÍTULO

Optimización de los materiales para Hormigones de Alta Resistencia comprendidos entre 4000 Psi (28 Mpa) – 6000 Psi (42 Mpa), sin aditivos.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los hormigones de 3000 Psi (21 Mpa) a 3500 Psi (24 Mpa) están revaluados, por esta razón este proyecto nació de la necesidad de Diseñar Hormigones con mayores niveles de resistencia y lograr que tengan una mayor durabilidad.

En Bogotá se busca optimizar los diseños ya existentes para conseguir estructuras con un mayor grado de confiabilidad a nivel estructural y lograr que en los proyectos se consiga mayor rentabilidad en la parte económica.

Es de saber que el hormigón de alta resistencia a temprana edad es utilizado en: Hormigones prefabricados para tener una rápida producción de elementos, en las construcciones de alta velocidad colocadas en el lugar, contar con una reutilización rápida de los moldajes, en construcciones en climas fríos, reparaciones rápidas con el propósito de reducir los periodos de paralización del tránsito y en pavimentaciones rápidas de caminos (permite poder abrir al tránsito 24 hr después de haberlo colocado) y para varios otros usos.

Para solucionar las condiciones que debe cumplir un hormigón de alta resistencia es conveniente tomar como referencia los mecanismos por los cuales se produce la falla a compresión del hormigón.

Para desarrollar el problema óptimamente se contó con conceptos como; Falla por rotura del mortero de hormigón: para superar este tipo de fallas es necesario elevar al máximo posible la resistencia del mortero, se tomaron las siguientes medidas:

Optimizar el tamaño máximo del agregado grueso, ya que éste influye

indirectamente sobre la resistencia del mortero al inducir concentración de tensiones. Este punto debe ser evaluado cuidadosamente al estudiar un hormigón de alta resistencia, pues la experiencia indica que este óptimo, está comprendido entre 3/8" y 1", se debe utilizar la misma razón agua cemento con la mínima cantidad de cemento posible.

La compactación se debe hacer bajo condiciones controladas para eliminar aire atrapado. Uno de los agregados en los que se debió tomar más precaución en el momento del diseño del hormigón es la arena gruesa, ya que ésta falla por rotura del árido grueso, esta falla es menos común y para preverla es necesario que el árido grueso presente una adecuada resistencia a la compresión.

Otro factor importante que se tuvo en cuenta en el agregado es la falla por falta de adherencia entre árido grueso y el mortero: es el más difícil de mejorar, para esto se requirió del árido grueso, superficie rugosa, limpia, forma perfectamente cúbica. Las condiciones señaladas indican adicionalmente que la manutención de las características exigidas a un hormigón de alta resistencia hace necesario un permanente control de calidad, pues, especialmente cuando la resistencia especificada es alta, cualquier falla en el cumplimiento de estas condiciones pone en peligro su manutención en forma permanente, por consiguiente la solución al problema planteado con anterioridad fue la optimización de los materiales de alta resistencia comprendidos entre 4000 Psi (28 Mpa) a 6000 Psi (42 Mpa), así evitamos el uso de aditivos.

Tabla 1. Estado del arte

TÍTULO	AUTOR	NACIONALIDAD Y AÑO	INSTITUCIÓN
Determinación del porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por ceniza volante	Duran Bernal, Alejandro José CF	Colombia 2004	Universidad Nacional
Conectores de cortante en varilla redonda para desarrollar acción compuesta acero concreto	Montaña Peña, Miguel Ángel CF	Colombia 2004	Universidad Nacional
Factores que afectan la adherencia entre capas de concreto compactado con rodillo en presas	Pacheco Zabala, Paulo Andrés CF	Colombia 2003	Universidad Nacional
El uso de la fibra en el refuerzo del concreto	Vargas García, Fabio Humberto CF	Colombia 2003	Universidad Nacional
Investigación, diseño y experimentación de un concreto de alta resistencia	Barrios Muñoz, Jaime CF	Colombia 2000	Universidad Nacional

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un hormigón de alta resistencia sin la utilización de aditivos?

1.5 JUSTIFICACIÓN

El concreto hidráulico es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, el cual tiene como función resistir los esfuerzos a compresión, servir como recubrimiento e impermeabilizante, entre otras. Este concreto convencional

es fabricado con los siguientes materiales: cemento, agua, arena y agregado pétreo en diferentes proporciones.

Por este motivo el trabajo de proyecto de grado se desarrolló y se presentó como complemento de los conocimientos adquiridos durante la formación de pregrado, es por ello que en este proceso de investigación no sólo se dejan informes escritos, sino que se llevó a cabo su aplicación, donde se mezclaron el saber con el hacer, permitiendo de esta forma que los estudiantes lleven a cabo dicho proyecto, teniendo en cuenta que ha medida que se adelantaron los procesos propuestos, obtuvimos soluciones como también se aclararon las dudas que se presentaron a la hora de escoger este proyecto.

Debido a las limitantes que se tenían en Colombia para realizar los diseños de alta resistencia y mayor durabilidad. Se vio la necesidad de crear un diseño optimizando los materiales del hormigón convencional para de esta manera evitar el uso de aditivos.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un hormigón de alta resistencia comprendido entre 4000 Psi (28 Mpa) y 6000 Psi (42 Mpa) sin la utilización de aditivos.

1.6.2 Objetivos específicos

- Identificar las características físicas de todos los componentes del hormigón.
- Demostrar que es posible diseñar un hormigón de alta resistencia más económico y eficaz con base al control de calidad de los agregados (grava, arena y cemento).
- Optimizar el diseño de una mezcla para obtener un hormigón de alta resistencia y con unas características que cumplan con las normas de calidad.
- Crear una serie de diseños físicos basándose en los obtenidos teóricamente.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

En la actualidad, para la obtención de hormigones de alta resistencia, hay que partir de conocer las propiedades de un hormigón tradicional, ya que se considera importante, conocer cuales son las causas para que el hormigón no alcance las fallas esperadas.

El hormigón es considerado tradicionalmente como un material formado por áridos ocluidos en una matriz de pasta de cemento. Las propiedades mecánicas de ese hormigón dependerán de las propiedades de los referidos componentes básicos, de la proporción entre ellos y de las características físicas y químicas de la interfase¹.

En la actualidad los hormigones de alta resistencia son parte fundamental en el desarrollo de la construcción, siempre se busca un hormigón que logre resistencias altas, hay muchas teorías de porque un hormigón no puede llegar alcanzarlas.

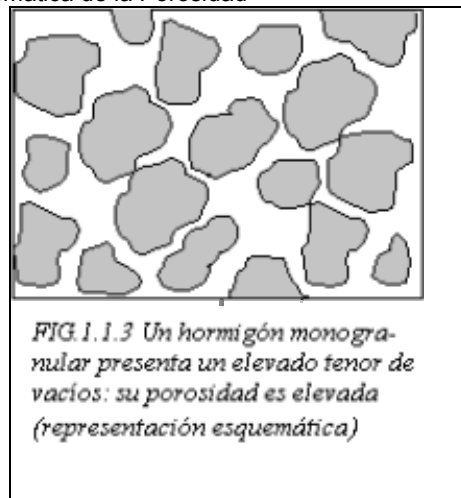
En cualquier caso, existen normas de buena práctica que es conveniente tener en cuenta al iniciar el estudio. Posiblemente debido a que el hormigón tradicional es un material muy distinto al hormigón de alta resistencia, los métodos de dosificación habituales, Fuller, Bolomey, De la peña, Faury, etc. No son adecuados. La adopción de cualquiera de los usos granulométricos empleados en los métodos citados conduce a incorporar

¹ GONZÁLES ISABEL, German. Hormigón de Alta Resistencia. Madrid: Intemac, 1993. p. 21

cantidades de arena muy superiores a las que son recomendables en los hormigones de alta resistencia²

Se puede decir que obtener un hormigón de alta resistencia experimentalmente es posible, sin la utilización de aditivos, se pueden mejorar las condiciones en el momento de elaborar el diseño de la mezcla, entre estas condiciones se puede nombrar el control de la porosidad, disminuir la relación de agua cemento, controlar burbujas de aire ya que cumplen un papel importante en la rotura de los agregados del hormigón.

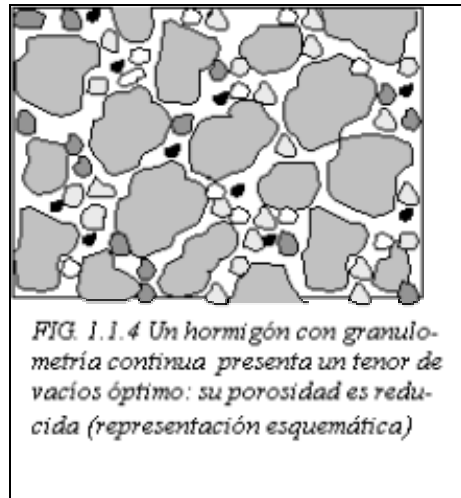
Figura 1. Representación Esquemática de la Porosidad



Fuente: Constituyentes del Hormigón [En línea] < <http://www.construaprende.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

² Ibid.,p.12

Figura 2. Representación Esquemática de la Porosidad Reducida



Fuente: Constituyentes del Hormigón [En línea] < <http://www.construaprende.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia. Se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua – cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento.

La baja relación agua / cemento, resultante de compatibilizar las condiciones anteriores, obliga a la necesidad inexorable de emplear superfluidificantes o superplastificantes de probada eficacia.

Si como es previsible, la normativa de aplicación es implantada con posterioridad al uso industrial de estos hormigones, será el propio mercado quien se encargue de clasificar a cada fabricante o suministrador en el lugar que le corresponde, dado que aunque es relativamente la obtención de hormigón de alta resistencia, en el laboratorio bajo condiciones controladas, su producción a escala industrial puede resultar más problemática³.

³ Ibid., p.12 – 15

Para obtener hormigones de alta resistencia es necesario evaluar, relaciones de agua cemento, para esta relación se deben mantener rangos inferiores de 0.40, para mejorar la resistencia del hormigón, como también se deben optimizar los tamaños de los agregados, y manejar con mucha precaución la porosidad en el momento de realizar la mezcla ya que si la porosidad es alta, la mezcla no podrá alcanzar valores que le permita entrar en un hormigón de alta resistencia.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo $f' c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas en especímenes de hormigón; En los Estados Unidos, a menos que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm. En tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm^2 . Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm^2 , resistencia de 1,400 kg/cm^2 se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión⁴.

Podemos hablar de elementos que nos pueden ayudar a mantener resistencias altas, como lo es dosificar con asentamientos en Cono de Abrams superiores a 15 cm. Sin recurrir a un superfluidificante, con el sólo arbitrio de tratar de mantener la resistencia compensando el exceso de agua con más cemento para mantener la relación agua/cemento.

El cono de Abrams consiste básicamente en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla – pisón y, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior. Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del cono de hormigón mediante golpes laterales con la varilla – pisón, en la forma señalada. De esta manera, la medida del asentamiento permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

⁴ Resistencia del concreto [En línea] < <http://www.lawebdelprogramador.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

El ensayo del cono de Abrams permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta un tronco cónico moldeado con hormigón fresco, con la limitación de no determinar docilidades para asentamientos inferiores a 2 cm o mayores a 18 cm. El molde utilizado para este ensayo consiste en un tronco de cono recto metálico cuyo diámetro superior es de 100 ± 1.5 mm, diámetro inferior de 200 ± 1.5 mm, y altura igual a 300 ± 1.5 mm. ;provisto de dos pisaderas en la parte inferior para la sujeción por parte del operador durante el llenado, y dos asas en el tercio superior para levantar el molde después del llenado⁵.

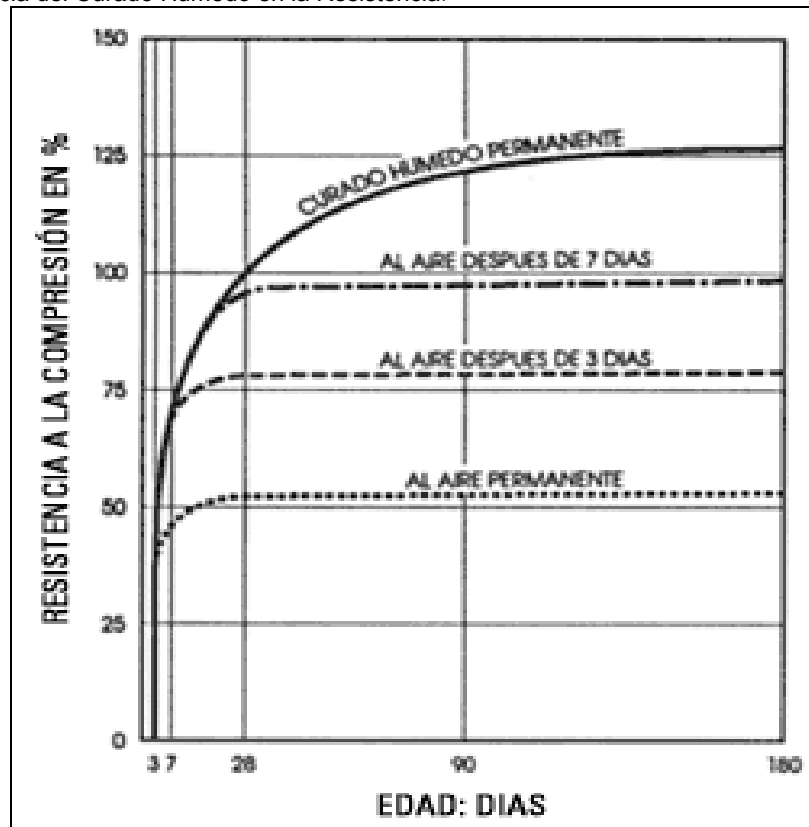
Otro elemento que contribuye a la elevación de la resistencia -siempre manteniendo las demás condiciones - es la reducción de la relación agua/cemento. Hay una tendencia generalizada en las obras a trabajar con hormigones más fluidos que los realmente necesarios. Es obvio que esto significa menos esfuerzo del personal. Pero este aumento de la cantidad de agua de mezclado, disminuye inexorablemente la resistencia del hormigón.

El curado del hormigón se refiere a las condiciones de humedad y temperatura en que es mantenido el hormigón a través del tiempo. Remarcamos entonces que la edad de las reacciones de hidratación del cemento, tienen una definitiva influencia en la resistencia del hormigón.

Un curado deficiente o la falta total de curado pueden reducir la resistencia del hormigón de la estructura, comparada con la de las probetas con curado normalizado, hasta en un 50%, podemos decir que se tiene el siguiente comportamiento.

⁵ Cono de Abrams [En línea] < <http://icc.ucv.cl/hormigon/1019.htm>. Citado [octubre 12 del 2006]

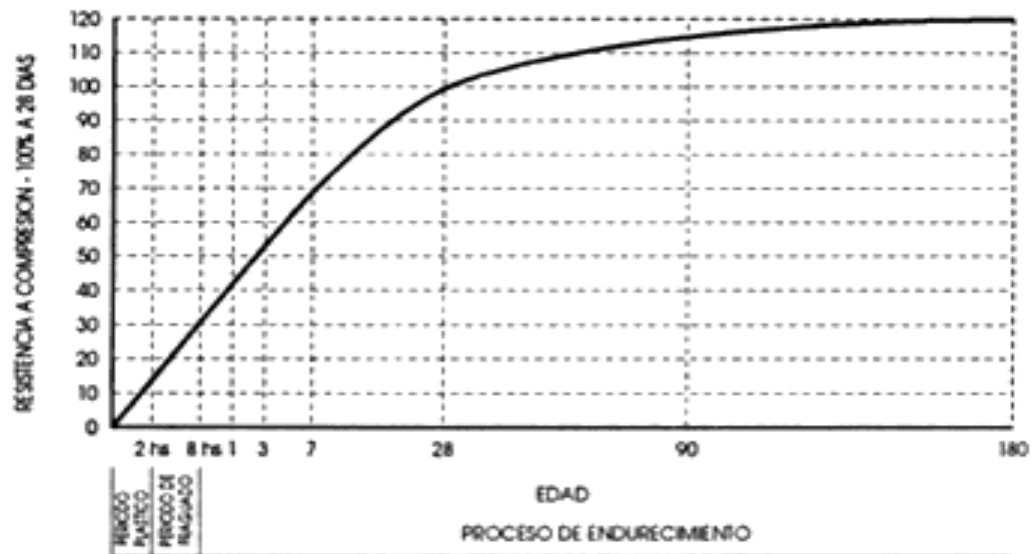
Figura 3. Influencia del Curado Húmedo en la Resistencia.



Fuente: Manual del Uso del Hormigón Elaborado

La resistencia del hormigón aumenta según el tiempo de curado, y en este tiempo se ven las distintas etapas de endurecimiento del hormigón, esto se debe a que el hormigón toma más resistencia al estar en agua, por eso es que el tiempo de curado del cemento se hace en ciclos al transcurrir el tiempo. La edad del concreto nos permite llegar a la resistencia esperada para esto se manejan fallas a los 3, 7, 14, 28 días, para nuestro proyecto.

Figura 4. Desarrollo de la Resistencia en el Tiempo de un Hormigón con Cemento Pórtland Normal.



Fuente: Manual del Uso del Hormigón Elaborado

Para lograr que el hormigón logre valores de resistencia esperadas, se deben cumplir con el desarrollo técnico partimos que en la granulometría de un agregado se debe tener las mezclas de las diferentes fracciones de agregado grueso y arena (agregados totales), ya que ellos deben ocupar la gran masa de la mezcla del hormigón, es decir, los agregados conforman el esqueleto granular del hormigón y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de hormigón, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

La pasta cemento (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa de hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del hormigón. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí.

Según Norma ICONTEC No 32. Ensayo de Granulometría Para agregados se cuenta con la siguiente serie de tamices.

Tabla 2. Serie Americana de Tamices.

Denominación del tamiz	Designación ISO	Designación ICONTEC – NTC equivalente		Antigua designación ASTM equivalente
		Normal	Alternativo	
150 mm	-	-	-	6"
125 mm	-	-	-	5"
106 mm	-	107.6 mm	4.24 "	4.24 "
*	-	101.6 mm	4 "	-
90 mm	-	90.5 mm	3 ½ "	3 ½ "
75 mm	-	76.1 mm	3 "	3 "
63 mm	-	64.0 mm	2 ½ "	2 ½ "
53 mm	-	53.8 mm	2.12"	2.12"
*	-	50.8 mm	2"	2"
45 mm	-	45.3 mm	1 ¾ "	1 ¾ "
37.5 mm	-	38.1 mm	1 ½ "	1 ½ "
31.5 mm	-	32.0 mm	1 ¼ "	1 ¼ "
26.5 mm	-	26.9 mm	1.06"	1.06"
*	-	25.4 mm	1"	1"
22.4 mm	22.4 mm	22.6 mm	7/8"	7/8"
19.0 mm	-	19.0 mm	¾"	¾"
16.0 mm	16.0 mm	16.0 mm	5/8"	5/8"
13.2 mm	-	13.5 mm	0.53"	0.53"
*	-	12.7 mm	½"	
11.2 mm	11.2 mm	11.2 mm	7/16"	7/16"
9.5 mm	-	9.51 mm	3/8"	3/8"
8.0 mm	8.0 mm	8.00 mm	5/16"	5/16"
6.7 mm	-	6.73 mm	0.265"	0.265"
*	-	6.35 mm	¼"	
5.6 mm	5.6 mm	5.66 mm	No. 3 ½"	No. 3 ½"

4.75 mm	-	4.76 mm	No. 4	No. 4
4.00 mm	4.00 mm	4.00 mm	No. 5	No. 5
3.35 mm	-	3.36 mm	No. 6	No. 6
2.80 mm	-	2.83 mm	No. 7	No. 7
2.36 mm	-	2.38 mm	No. 8	No. 8
2.00 mm	2.00 mm	2.00 mm	No. 10	No. 10
1.70 mm	-	1.68 mm	No. 12	No. 12
1.40 mm	1.40 mm	1.41 mm	No. 14	No. 14
1.18 mm	-	1.19 mm	No. 16	No. 16
1.00 mm	1.00 mm	1.00 mm	No. 18	No. 18
850 μ m	-	841 μ m	No. 20	No. 20
710 μ m	710 μ m	707 μ m	No. 25	No. 25
600 μ m	-	595 μ m	No. 30	No. 30
500 μ m	500 μ m	500 μ m	No. 35	No. 35
425 μ m	-	420 μ m	No. 40	No. 40
355 μ m	355 μ m	354 μ m	No. 45	No. 45
300 μ m	-	297 μ m	No. 50	No. 50
250 μ m	250 μ m	250 μ m	No. 60	No. 60
212 μ m	-	210 μ m	No. 70	No. 70
180 μ m	180 μ m	177 μ m	No. 80	No. 80
150 μ m	-	149 μ m	No. 100	No. 100
125 μ m	125 μ m	125 μ m	No. 120	No. 120
106 μ m	-	105 μ m	No. 140	No. 140
90 μ m	90 μ m	88 μ m	No. 170	No. 170
75 μ m	-	74 μ m	No. 200	No. 200
63 μ m	63 μ m	63 μ m	No. 230	No. 230
53 μ m	-	53 μ m	No. 270	No. 270
45 μ m	45 μ m	44 μ m	No. 325	No. 325
38 μ m	-	37 μ m	No. 400	No. 400

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero, Pontificia Universidad Javeriana, Ed. Bhandar editores, Bogotá, 2001. p. 72-74

Los cuales son la base para el comienzo de este ensayo, el ensayo de granulometría es fundamental para el diseño de mezcla, por esta razón, el ensayo debe cumplir con todas las especificaciones técnicas de la norma. Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar gráficamente lo cual a este grafico se le llama curva granulométrica. Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las

ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos. Los resultados de este laboratorio nos arrojan los valores de tamaño máximo y tamaño máximo nominal, el primero tamaño máximo representa el menor tamiz por el que pasa toda la muestra, el segundo tamaño máximo nominal es el menor tamaño del tamiz por el que debe pasar la mayor parte del agregado, este puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo del número del tamaño.

La granulometría del hormigón consiste en la distribución del tamaño de sus partículas. Y esta se determina haciendo pasar una muestra representativa de hormigón por una serie de tamices ordenados, de mayor a menor. Cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje (retenido) del peso total de la muestra. Cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje (retenido) del peso total de la muestra. El porcentaje acumulado que pasa, que será simplemente la diferencia entre 100 y el porcentaje retenido acumulado. Fórmula $\% \text{ pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$ ⁶.

El esqueleto granular que nos da el ensayo de granulometría está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistentes que la pasta cemento y además económicos. Por lo tanto conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un hormigón resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico.

⁶ Hormigón [En línea] < <http://www.lawebdelprogramador.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

Se debe tener un limite en la cantidad de agregado gruesos, ya que la cantidad de este influye en el momento de fundir la mezcla puede hacer mas dispendioso el proceso. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación. Llegado este caso se suele decir que el hormigón es áspero, pedregoso y poco dócil.

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias esperadas.

En el hormigón fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena). Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo⁷.

Los agregados gruesos los podemos clasificar de la siguiente forma.

Tabla 3. Clasificación de los agregados gruesos

ORIGEN		TIPO	FORMA	TEXTURA	ALGUNOS EJEMPLOS DE IDENTIFICACIÓN MINERALOGICA Y PROCEDENCIA
PETREOS	NATURALES	CANTO RODADO	REDONDEADA	LISA	SEDIMENTARIAS (Mesopotámica, Mendoza)
	TRITURADOS MECÁNICAMENTE	PIEDRA PARTIDA	POLIEDRICA	RUGOSA	GRANITICAS (Azul, Tandil Y Olavarría - Pcia. Bs. As,)
					CALCAREA(Córdoba y San Luis)
					BASALTICA(zona cordillerana)

⁷ Agregados del hormigón [En línea] < <http://www.construaprende.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

ARTIFICIALES	LIVIANOS	REDONDEADA	RUGOSA	ARCILLA EXPANDIDA
--------------	----------	------------	--------	-------------------

Fuente: Manual del Uso del Hormigón Elaborado

La forma del agregado tiene gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, particularmente en lo que refiere a la docilidad y resistencias mecánicas. Las partículas redondeadas hacen los hormigones muy dóciles, en tanto que los agregados triturados dan lugar a hormigones difíciles de trabajar. Las formas elongada y la plana o lajosa dan lugar a hormigones de peor calidad. Disminuyen la trabajabilidad del hormigón, obligando a un mayor agregado de agua y arena, lo que se debe evitar ya que disminuye notablemente la resistencia del hormigón.

La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a la flexo tracción que a la compresión.

La mayor rugosidad superficial de los agregados aumenta la superficie de contacto con la pasta de cemento; haciendo necesaria la utilización de mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad deseada (tabla 1.3.1), pero favorece la adherencia pasta-agregado y así mejora las resistencias. Esto es característico de los agregados de trituración⁸.

En los agregados finos, se debe tener en cuenta que son arenas naturales (y muy pocas de trituración) que pueden clasificarse teniendo en cuenta su Módulo de Finura (M.F.) en las siguientes:

⁸ Agregados del hormigón [En línea] < <http://www.construaprende.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

Arenas Finas: MF. Desde 1,25 a 2; no se aconseja su uso para hormigón.

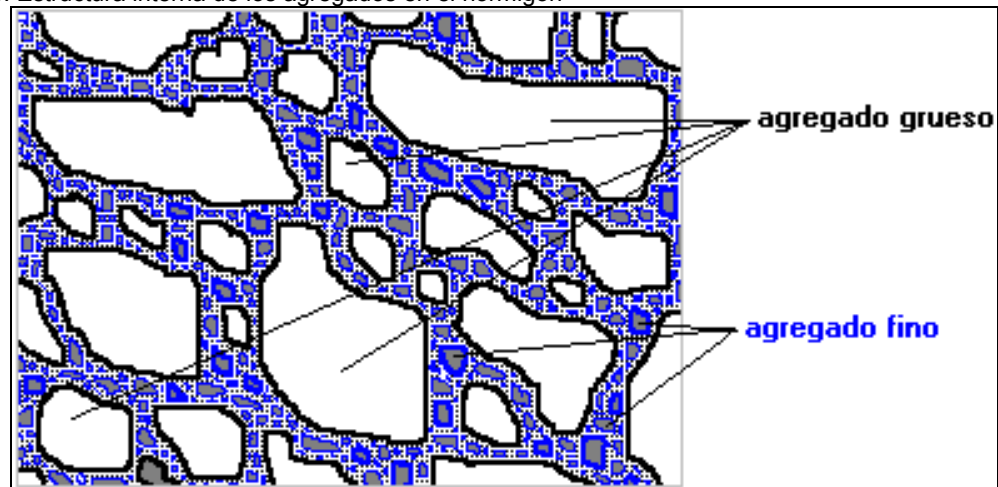
Arenas Medianas: MF. Desde 2 hasta 2,4; son aptas para hormigón.

Arenas Gruesas: MF. Desde 2,4 a 2.7 son óptimas; por encima de 2.7 y hasta 3,30 ó 3,35 son aptas para el hormigón pero las mezclas se vuelven muy ásperas.

El Modulo de Finura es un parámetro adimensional que por si solo trata de calificar la granulometría del agregado. El ensayo para su determinación es relativamente simple y es un valioso indicador global, en obra o laboratorio, del tamaño del agregado.

La influencia de los agregados en la resistencia del hormigón no sólo es debida a la propia resistencia de éstos, sino también a su forma, textura, limpieza superficial y absorción dan un complemento a la resistencia del hormigón. Lo normal es que los hormigones tengan una resistencia a compresión comprendida entre 20 y 50 MPa. Los agregados comúnmente usados tienen resistencias muy superiores a estos valores. Sin embargo cuando se requiere producir hormigones de alta resistencia sí es necesario realizar una cuidadosa selección de los agregados, considerando su resistencia.

Figura 5. Estructura interna de los agregados en el hormigón



Fuente: Dosificación de Hormigones [En línea] < <http://www.publiespe.espe.edu.ec>. Citado [octubre 12 del 2006]

Otro factor importante en el diseño de la mezcla del hormigón es el contenido de agua, se debe utilizar agua potable que no tenga olor o sabor pronunciado. Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada. El agua que contiene menos de 2,000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado⁹.

⁹ Agua de mezclado [En línea] < <http://www.lawebdelprogramador.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

Cuando se elabora la pasta de cemento se debe evitar la porosidad ya que entre menor sea es mucho más resistente el hormigón. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un hormigón plástico y fácil de trabajar. La relación mínima Agua – Cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25, esta relación depende de la liberación de calor del tipo de cemento con el que se trabaje. El cemento Pórtland tipo 1 un poco mas de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Pórtland de bajo calor de hidratación, se debe tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

La densidad del hormigón es otro de los aspectos importantes del hormigón, se define como el peso por unidad de volumen. Esta depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón. Para los hormigones convencionales, formados por materiales granulares su valor oscila entre 2.35 y 2.55 kg/dm³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en

total puede significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su densidad inicial.

Los hormigones livianos se obtienen por medio de la incorporación de aire, ya sea directamente en la masa del hormigón o incorporada en los áridos utilizando áridos livianos. Su densidad puede alcanzar valores tan bajos como 0.5 kg/dm³ y se utilizan principalmente cuando se desea obtener aislaciones térmicas y acústicas mayores que las del hormigón convencional.

Los hormigones pesados se obtienen mediante el uso de áridos mineralizados, cuya densidad real es mayor que la de los áridos normales. Su densidad puede alcanzar valores hasta de 5.0 kg/dm³ y se utilizan principalmente cuando se desea obtener aislamiento contra las partículas radiactivas¹⁰.

El fraguado del hormigón es un aspecto muy importante ya que de él depende el tiempo en el que empieza la fase de endurecimiento, este empieza cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el endurecimiento de la mezcla. Si no se controla esta fase de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; cuando se presenta este estado se le denomina fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

¹⁰ Densidad del Hormigón [En línea] < <http://www.ucn.cl>. Citado [octubre 12 del 2006]

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es poco preciso por lo que no se conoce de un valor exacto. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor que se encuentre en el rango de los 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente.

Puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio¹¹.

La vibración se utiliza en el momento de fundir, se considera que es el método de asentamiento más eficaz, ya que da características al hormigón como resistencia, compacidad y buen acabado. El vibrado consiste en sacudir el hormigón con frecuencias elevadas que permitan una buena eliminación de aire atrapado y un mínimo de cavidades en la superficie que son de vital importancia para el hormigón. En la actualidad casi todo el hormigón se consolida mediante vibrado; el vibrado se adapta en especial a las consistencias más rígidas, asociadas con los hormigones de alta resistencia.

¹¹ Fraguado del concreto [En línea] < <http://www.lawebdelprogramador.com>. Citado [octubre 12 del 2006]

El vibrado cerca de las superficies verticales de la cimbra, permite que una capa de mortero se establezca, produciendo una superficie tersa; este vibrado no debe excederse ya que puede producir en la etapa de curado fisuras que alteran la resistencia del hormigón.

Anteriormente para consolidar el concreto se usaba el apisonado a mano, sin embargo, los vibradores de alta frecuencia tienen un uso más general, ya que han logrado los objetivos de la consolidación como sacar el aire del concreto que se halle atrapado en la mezcla, el concreto se vuelve más manejable de modo que penetra en los lugares más difíciles, esto permite utilizar menor cantidad de agua en la mezcla obteniendo con ésta una mayor resistencia. Es indispensable cuidar el vibrado, con vibrador de aguja, haciendo que ésta dependa del tamaño del agregado. Las zonas intensamente vibradas producen una concentración de burbujas de aire y de partículas finas, por lo que muchos descartan la utilización de vibradores de encofrado. Para una compactación, en general se recomienda frecuencias de vibrado elevadas (hasta 20.000 rpm) aunque la confiabilidad es indiscutible, especialmente con agregados de 20 mm. El vibrado debe, en cualquier caso, facilitar la eliminación del aire de manera continua desde el inicio de la colocación¹².

Existen varios métodos de vibrado que se pueden aplicar en el momento en que se funde la mezcla entre ellos podemos mencionar dos clases de vibrado, la vibración interna y la vibración externa que ayudan a eliminar el aire incorporado, en la siguiente tabla se define su utilización general, sus ventajas y desventajas de cada proceso.

¹² Manejo y Colocación del Concreto [En línea] < <http://orbita.starmedia.com>. Citado [octubre 13 del 2006]

Tabla 4. Tipos De Vibración Para La Colocación Del Concreto

Tipo de vibración	Frecuencia (RPM)	Utilización General	Ventajas	Inconvenientes
Externa	3.000-12.000	Grandes moldes de madera o metal.	Portátil y fácil de adaptar	Efecto de compactado local
Mesa	6.000-3.000	Generalmente secciones delgadas	Puede darse gran potencia, amplitud y frecuencia variable. Propio de gran producción industrial	Montaje fijo
		Moldes individuales.		
		Moldes múltiples.		
		Productos grandes, medios y pequeños.		
Interna	6.000-30.000	Grandes elementos.	Portátil	Vibración más cuidadosa. Puede estropear moldes profundos.
		Masas de hormigón.		
		Secciones grandes y reducidas.		
		Aplicación en superficies planas como losas.		
Superficial	Superior a 1.500	Movimiento horizontal	Portátil	No es adecuada para moldes profundos.
		Pequeños elementos en hormigón.		
		Asentamiento de piedras y gravas. Puede emplearse como vibración externa.		
		Grandes elementos de construcción.		
			Puede actuar sobre el hormigón o molde	Debe mantenerse durante la compacidad.

Tipo de martillos	500-6.000			
Métodos de choque	200		Portátil	Es preciso emplear moldes muy reforzados

Fuente: Manejo Y Colocación Del Concreto.

La vibración interna se debe hacer con más vigor que la vibración externa por lo que es recomendada en el momento de fundir toda mezcla de hormigón y en la actualidad es la mas usada, el método consiste en introducir el vibrador en sentido vertical y de forma uniforme en toda el área.

La vibración externa consiste en vibrar las paredes de los encofrados, el número de vibraciones depende del tamaño y la forma del molde, este vibrado debe realizarse en la cimbra, se hace con un espaciamiento considerado para darle fuerza al vibrado en el panel.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

- Concreto Hidráulico.

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como revoltura de concretos e Introduce de manera simultanea un quinto participante representado por el aire¹³.

- Cualidades del concreto fresco:

Consistencia; La facilidad con que un concreto fresco se deforma nos da idea de su consistencia. Los factores más importantes que producen esta deformación son la cantidad de agua de amasado, la granulometría y la forma y tamaño de sus áridos.

Docilidad; La docilidad puede considerarse como la aptitud de un concreto para ser empleado en una obra determinada; para que un concreto tenga docilidad, debe poseer una consistencia y una cohesión adecuada, así, cada obra tiene un concepto de docilidad, según sus medidas y características.

¹³ INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN UNAM. Manual de Tecnología del Concreto. México: Noriega editores, 1994. p. 1-2.

Densidad; Es un factor muy importante a tener en cuenta para la uniformidad del concreto pues el peso varía según la granulometría, y humedad de los áridos, agua de amasado y modificaciones en el asentamiento.

- Agregados.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.¹⁴

- Resistencia.

Capacidad que tiene el concreto de soportar esfuerzos de diferentes tipos y magnitudes. Entre los innumerables factores que afectan la resistencia del concreto en estado endurecido, independientemente de la calidad y tipo de materiales que lo constituyen; Las propiedades de los agregados que influyen en la resistencia del concreto son las siguientes:

- La granulometría.
- La forma y textura de los agregados.
- La resistencia y rigidez de las partículas de los agregados.
- Tamaño máximo del agregado grueso.

La resistencia a la compresión es un parámetro comúnmente utilizado para caracterizar un hormigón de alta resistencia. Es

¹⁴ INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CONCRETO. Cartillas técnicas del hormigón. Madrid: Cide, 1966. p. 12.

necesario establecer las relaciones de dependencia entre la resistencia a la compresión, tracción, flexo tracción y módulo de elasticidad ya que mediante estas se podrá relacionar con fenómenos como lo son la retracción y fluencia y de esta manera observar su comportamiento frente a la fatiga¹⁵.

- Áridos.

Los áridos son materiales inertes naturales o artificiales que se pueden emplear tal como se encuentran en la naturaleza o triturados y que tienen aplicación para la confección de hormigones al ser conglomerados con el cemento. Los áridos se pueden clasificar en naturales o artificiales.

Áridos naturales: como su nombre lo indica se obtienen directamente de la naturaleza y proceden de la desintegración natural o artificial de las rocas.

Áridos artificiales: se denomina así cuando hay que proceder a su elaboración obteniéndose muchas veces como subproducto de fabricación de otros materiales.¹⁶

- Dosificación.

La dosificación de componentes para la obtención de un hormigón de alta resistencia es un proceso forzosamente lento, dado que debe basarse, en todos los casos, en la propia experimentación, partiendo de las características más significativas de los materiales disponibles. Las variables que intervienen son elevadas y las variables a considerar numerosas.¹⁷

- Tipos De Cemento Pórtland.

Los Cementos Pórtland por lo general, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones **ASTEM** de normas para Cemento Pórtland. Los tipos se distinguen según los requisitos tanto físicos como químicos.

¹⁵ GONZÁLES ISABEL, German. Hormigón de Alta Resistencia. Madrid: Intemac, 1993. p. 143.

¹⁶ INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CONCRETO. Cartillas técnicas del hormigón. Madrid: Cide, 1966. p. 3-5

¹⁷ GONZÁLES ISABEL, German. Hormigón de Alta Resistencia. Madrid: Intemac, 1993. p. 85-86.

Pórtland tipo I; Es un cemento normal, se produce por la adición de clinker más yeso. De uso general en todas las obras de ingeniería donde no se requiera miembros especiales. De 1 a 28 días realiza 1 al 100% de su resistencia relativa.

Pórtland Tipo II; Cemento modificado para usos generales. Resiste moderadamente la acción de los sulfatos, se emplea también cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento Tipo II adquiere resistencia mas lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. Las características de este Tipo de cemento se logran al imponer modificaciones en el contenido de Aluminato Tricalcico (C3A) y el Silicato Tricalcico (C3S) del cemento. Se utiliza en alcantarillados, tubos, zonas industriales. Realiza del 75 al 100% de su resistencia.

Pórtland Tipo III; Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II; Se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C3S y C3A en el cemento, al molerlo mas fino; las

especificaciones no exigen un mínimo de finura pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas que una cantidad muy pequeña de humedad prehidratada el cemento durante el almacenamiento maneja. Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C3A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C3A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

Pórtland Tipo IV; Cemento de bajo calor de hidratación se ha perfeccionado para usarse en concretos masivos. El bajo calor de hidratación de Tipo IV se logra limitándolos compuestos que más influye en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud. El calor de hidratación del cemento Tipo IV suele ser de más o menos el 80% del Tipo II, el 65% del Tipo I y 55% del Tipo III durante la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un poco mayores después de más o menos un año. Es utilizado en grandes obras, moles de concreto, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

Pórtland Tipo V: Cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones

típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento Tipo V se logra minimizando el contenido de C3A, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por el sulfato. Realiza su resistencia relativa del 65 al 85 %.

- Tipos De Cementos Especiales.

Cemento Pórtland Blanco; Es el mismo Pórtland regular, lo que difiere es el color, esto se obtiene por medio del color de la manufactura, obteniendo el menor número de materias primas que llevan hierro y óxido de magnesio, que son los que le dan la coloración gris al cemento. Este cemento se usa específicamente para acabados arquitectónicos tales como estuco, pisos y concretos decorativos.

Cemento Pórtland De Escoria De Alto Horno; Es obtenido por la pulverización conjunta del clinker Pórtland y escoria granulada finamente molida con adición de sulfato de calcio. El contenido de la escoria granulada de alto horno debe estar comprendido entre el 15% y el 85% de la masa total.

Cemento Siderúrgico Supersulfatado; Obtenido mediante la pulverización de escoria granulada de alto horno, con pequeñas cantidades apreciables de sulfato de calcio.

Cemento Pórtland Puzolanico; Se obtiene con la molienda del clinker con la puzolana. Tiene resistencia parecida al cemento normal y resistente ataques al agua de mar, lo que lo hace aconsejable para construcciones costeras. Para que el cemento sea puzolanico debe contener entre el 15% y el 50% de la masa total. El cemento puzolanico se utiliza en construcciones que están en contactos directos con el agua, dada su resistencia tan alta en medios húmedos.

Cemento Pórtland Adicionado; Obtenido de la pulverización del clinker Pórtland conjuntamente con materiales arcillosos o calcáreos-silitos-aluminosos.

Cemento Aluminoso; Es el formado por el clinker aluminoso pulverizado el cual le da propiedad de tener alta resistencia inicial. Es también resistente a la acción de los sulfatos así como a las altas temperaturas.

- Agua.

En relación con el concreto el agua es de gran importancia puesto que tiene como objetivo dos diferentes aplicaciones: como ingrediente 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.

Aunque en estas aplicaciones las características del agua tiene efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola cantidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer termino a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son 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.¹⁸

- Relación Agua Cemento.

Como se mencionó previamente, la relación agua cemento, es el factor más importante en la resistencia del concreto con un adecuado grado de compactación. Pero debido a que los diferentes agregados y cementos producen generalmente resistencias distintas con la misma relación agua cemento, es necesario desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación.

- Fraguado del Concreto.

Otro factor que afecta la resistencia del concreto es la velocidad de endurecimiento que presenta el pasar del estado plástico al estado endurecido, bajo ciertas y determinadas condiciones de tiempo y temperaturas.

- Edad del Concreto.

Entre los factores externos que afectan la resistencia del concreto se encuentra, en primer lugar la edad, debido a que la relación que hay entre la relación agua cemento y la resistencia

¹⁸ INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN UNAM. Manual de Tecnología del Concreto. México: Noriega editores, 1994. p. 176.

del concreto se aplica únicamente a un tipo de cemento a una sola edad. Como la resistencia es variable, es necesario escoger una edad definida para que la resistencia en ese momento caracterice las propiedades mecánicas. Arbitrariamente, esta edad se ha tomado en 28 días¹⁹.

- Curado del concreto.

La exposición al aire del concreto, debido a la pérdida de humedad durante el proceso de fraguado, posteriormente impide la hidratación completa del cemento y por lo tanto la resistencia final se disminuirá. Por tal motivo, el curado es el nombre que se le da a los procesos para promover la hidratación del cemento y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de humedad dentro y fuera del concreto²⁰.

- Temperatura.

Otro de los factores que afectan la resistencia del concreto es la temperatura durante los procesos de fraguado y curado, debido a que una elevación en la temperatura de curado acelera las reacciones químicas de la hidratación y esto afecta benéficamente la resistencia temprana del concreto, sin efectos contrarios en la resistencia posterior.

- Durabilidad.

Es la propiedad del concreto de soportar aquellas exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio.

- Densidad.

¹⁹ APUNTES DE CLASE. Anderson Murillo. Docente Jaime Galvis. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Civil. 2003.

²⁰ Ibid.,

Es una de las propiedades más importantes del concreto es la que da la estabilidad a la estructura.

2.3 MARCO CONTEXTUAL

El desarrollo de la investigación se llevara a cabo en la ciudad de Bogotá, en las instalaciones de la Universidad de la Salle – sede centro, donde se hará el desarrollo de las practicas correspondientes, la materia prima que se utiliza para desarrollar las practicas las vamos a obtener de las canteras locales de Bogotá.

2.4 MARCO NORMATIVO.

- Las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente ley 400 de 1997, decreto 33 de 1998 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Para los respectivos ensayos tanto de finura, granulometría, porcentajes de absorción, fluidez entre otros, al igual que para los cálculos y el correspondiente análisis de cada material, se tuvieron que tener en cuenta las respectivas normas ICONTEC.

Tabla 5. Normas ICONTEC

MATERIAL	NORMA N°	TEMA
CEMENTO	221	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO
	118	TIEMPO DE FRAGUADO DE CEMENTO HIDRÁULICO
	110	CONSISTENCIA NORMAL
	294	PORCENTAJE DE FINURA DEL CEMENTO
	109	MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO POR MEDIO DE LAS AGUJAS DE GILMORE Y VICAT
GRAVA	77	TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS
	78	AGREGADOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DEL MATERIAL QUE PASA TAMIZ ICONTEC 74. MÉTODO DEL LAVADO
	32	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA PARA LOS AGREGADOS
	98	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS TAMAÑOS MENORES AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES
	176	MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS
	92	MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS
	1776	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL
ARENA	237	MÉTODO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
	92	MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS
	1776	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO HUMEDAD TOTAL

NORMA ICONTEC – 1776. Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total.

Objeto. Esta norma tiene como objeto establecer el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad total en una muestra por medio de secado.

Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar el porcentaje de humedad total. Este método es lo suficiente exacto para los fines usuales, tales como el ajuste de la masa en una mezcla de hormigón.

APARATOS.

- Balanza. Debe medir con sensibilidad de 0.1% de la masa de la muestra que se va a ensayar.
- Fuentes de Calor. Debe disponerse de una fuente de calor apropiada, tal como estufa eléctrica o de gas, lámparas eléctricas de calor a un horno capaz de mantener la temperatura en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipiente para contener la mezcla. Debe ser metálico, que no sea afectado por el calor, y de volumen suficiente para que contenga la muestra sin peligro de

que desborde, y de tal forma que la altura que ocupe la muestra no exceda de un quinto de la menor dimensión lateral.

- Agitador. Debe ser un cuchillo o espátula de metal de tamaño apropiado.

NORMA ICONTEC – 77. Tamizado de materiales granulados. (Agregados o áridos).

Objeto. Esta norma tiene como objeto establecer el procedimiento que debe seguirse en las operaciones de tamizado de materiales granulados, con el fin de determinar su composición granulométrica.

APARATOS.

- Balanza. Debe medir con sensibilidad de 0.1% de la masa de la muestra que se va a ensayar.
- Fuentes de Calor. Debe disponerse de una fuente de calor apropiada, tal como estufa eléctrica o de gas, lámparas eléctricas de calor a un horno capaz de mantener la temperatura en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamices. Deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma ICONTEC 32.

NORMA ICONTEC – 78. Agregado para hormigón. Terminación del porcentaje de material que pasa tamiz ICONTEC 74. Método de lavado.

Objeto. Esta norma tiene como objeto establecer el procedimiento para determinar el porcentaje de material que pasa tamiz ICONTEC 74 μ en agregados para hormigón por el método de lavado.

Este procedimiento incluye el lavado sobre el tamiz ICONTEC de las partículas de arcilla y materiales solubles en agua, que contenga el agregado.

APARATOS.

- Balanza. Debe permitir lecturas con aproximaciones 0.1% del tamaño de la muestra.
- Tamices. Se emplean dos tamices: el tamiz inferior será de 74 μ y el superior de 1.19mm. ambos tamices deben cumplir con la norma ICONTEC 32.
- Recipiente. Debe ser de suficiente tamaño para mantener la muestra cubierta con agua y permitir la agitación vigorosa sin pérdida de muestra o de agua.
- Estufa. Debe ser de tamaño suficiente y que permita mantener una temperatura uniforme de 110°C \pm 5°C.

NORMA ICONTEC – 126. Método para determinar la resistencia de los agregados a los ataques con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Objeto. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el comportamiento de los agregados sometidos al ataque de una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

APARATOS.

- Tamices. Deben de aberturas cuadradas y cumplir con los requisitos de la norma ICONTEC 32.
- Recipientes de inmersión. Los recipientes para sumergir la muestra en la solución deben estar perforados en tal forma que permitan el libre acceso de la solución, así como un fácil escurrimiento de ésta sin pérdida de agregado. El volumen de la solución en que se sumergen las muestras deben ser por lo menos cinco veces el del agregado sumergido al mismo tiempo.
- Dispositivo para regular la temperatura. Debe ser adecuado para controlar la temperatura de las muestras dentro de la solución.
- Balanza. Para el agregado fino deben tener una capacidad mínima de 500g y pesar con una aproximación de 0.1g; para agregados gruesos deben tener una capacidad mínima 500g y pesar con una aproximación de 1g.
- Estufa de secado. Debe mantenerse a una temperatura 305°C – 110°C.

NORMA ICONTEC – 127. Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros hormigones.

Objeto. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar, en forma aproximada, el contenido de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros u hormigones.

APARATOS.

- Frascos. Deben de ser de vidrio incoloro de unos 350cm³, con tapas.

NORMA ICONTEC -237. Método Para Determinar El Peso Específico Y La Absorción De Agregados Finos.

Objetivo. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.

DEFINICIONES.

- Peso específico: Es el peso de la unidad de volumen del agregado.
- Peso específico aparente seco: Es la relación entre el peso en el aire del agregado seco y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.
- Peso específico aparente saturado: Es la relación entre el peso en el aire del agregado saturado y superficialmente seco y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.
- Absorción: Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de estar sumergido durante 24 horas en esta, expresada como un porcentaje del peso seco.

APARATOS.

- Balanza: Debe tener capacidad para 1 Kg. O más y sensibilidad de 0.1 Gr.
- Probeta: Debe tener una capacidad de 500 Cm³ con una aproximación de 0.03 % a 20°C.
- Molde metálico: Debe ser de forma tronco cónica, con las siguientes medidas: 40 mm de diámetro en la base superior, 90 mm de diámetro en la base inferior y 75 mm de altura.
- Pisón metálico: debe tener un peso de 340 Gr. Y una sección plana de 25 mm de diámetro.
- Preparación de la muestra: Se toman aproximadamente 1000 gr. por el método de cuarteo.

NORMA ICONTEC – 176. Peso Específico De Gravas.

Objetivo. Establecer el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso.

DEFINICIONES:

- Densidad Nominal: masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado grueso con exclusión de sus poros saturables y no saturables.

- Densidad Aparente: masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo los poros saturables y no saturables.
- Peso Unitario Del Agregado Saturado Y De Superficie Seca: relación entre el peso, en el aire, del volumen formado por las partículas del agregado con sus poros saturados de agua, y el peso de igual volumen de agua destilada, libre de gas a la misma temperatura.
- Absorción: cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, expresada como un porcentaje de la masa seca.
- Peso Especifico Aparente Seco: relación entre el peso en el aire, el agregado seco y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.
- Peso Especifico Aparente Saturado: relación entre el peso en el aire del agregado saturado y seco superficialmente y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.
- Balanza: debe tener una capacidad mínima de 5Kg o mas y permitir la medida de la masa con una aproximación.
- Canasta De Alambre: debe ser construida con malla de alambre de aberturas comprendidas entre 2 mm y 4 mm, sus dimensiones aproximadas deben ser 200mm de diámetro y 200mm de altura, debe tener un dispositivo adecuado para que pueda ser suspendida del centro del plato de la balanza.
- Recipiente Para Inmersión De La Canasta: debe tener forma y dimensiones adecuadas para la inmersión total de la canasta en agua.

- Preparación De La Muestra: se toman aproximadamente 5000 gramos del agregado por el método de cuarteo y se desecha el material que pasa por el tamiz Icontec 4.76mm.

NORMA ICONTEC – 92. Método Para Determinar La Masa Unitaria De Los Agregados

Objetivo. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la masa unitaria de los agregados.

APARATOS

- Balanza: debe pesar con una exactitud de 0.1% respecto al material usado.
- Varilla compactadota: debe ser de acero, cilíndrica, de 16 mm de diámetro con una longitud aproximada de 600 mm. Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio.
- Recipientes de medida: deben ser metálicos, cilíndricos, preferiblemente provisto de agarraderas impermeables, con el fondo y borde superior pulidos y planos y suficientemente rígidos para no deformarse bajo duras condiciones de trabajo. Los recipientes de 15 dm³ y 30 dm³ . Deben ir reforzados en su boca con una banda de acero de 40 mm de ancho. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo depende del tamaño máximo de las partículas del agregado que se va a medir.

Masa Unitaria Del Agregado Compactado.

- **Método De Apisonado:** para agregados de tamaño nominal menor o igual a 38 mm. El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo. Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. al apisonar la primera debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente; al apisonar las capas superiores se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atravesase la respectiva capa. Una vez colmado el recipiente se enrasa la superficie con la varilla usándola como regla y se determina la masa del recipiente lleno, en Kg
- **Método De Vibrado:** para agregados de tamaño nominal comprendido entre 38 y 100 mm. Las dimensiones de los recipientes deben cumplir con la siguiente tabla:

Tabla 6. Dimensiones para los recipientes

Volumen dm ³	Diámetro interior mm pulg.	Altura interior mm	Tamaño máximo de las partículas Mm	Calibre mm	
				Fondo	Pared

3	155	6"	160 +/- 2	12,5	5,0	3,0
10	205	8"	305 +/- 2	25	5,0	3,0
15	255	10"	295 +/- 2	40	5,0	3,0
30	355	14"	305 +/- 2	100	5,0	3,0

Fuente: Norma ICONTEC.

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas compacta del siguiente modo: se coloca el recipiente sobre una base firme y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo diste unos 5 cm de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repita la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto.

Esto golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sean 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto.

Una vez compactada la última capa se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones con relación al plano de enrase y se determina la masa en Kg. del recipiente lleno.

- Masa Unitaria Del Agregado Suelto: para agregados de tamaño nominal hasta de 100 mm. Se llena el recipiente por medio de una pala o cuchara de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm por encima del borde, hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas de las cuales se compone la muestra. Se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones con relación al plano de enrase y se determina la masa en Kg. del recipiente lleno.

NORMA ICONTEC – 32. Ensayo De Granulometría Para Agregados

Objetivo. Establecer estadísticamente las distintas proporciones de tamaño de los agregados que intervienen en el proceso de fabricación de hormigón.

- Granulometría. Esta práctica se realiza por vía seca o mecánica (uso de tamices).

NORMA ICONTEC – 98. Determinación De La Resistencia Al Desgaste De Los Tamaños Menores Agregados Gruesos, Utilizando La Maquina De Los Ángeles.

Objetivo. Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 38.1 mm, utilizando la máquina de Los Ángeles.

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento es indispensable en el diseño de mezclas es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados.

Esta es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas.

El ensayo que se aplicará a continuación da a conocer del agregado grueso el porcentaje de desgaste que este sufrirá en condiciones de roce continuo de las partículas y las esferas de acero. Esto nos indica si el agregado grueso a utilizar es el adecuado para el diseño de mezcla y la fabricación de concreto para la fabricación de losas y pisos

APARATOS:

- Balanzas: Deben permitir la determinación de la masa con aproximación de 1g.

- Estufa de secado: Debe mantener una temperatura uniforme.
- Tamices: Deben cumplir con la norma ICONTEC 32.
- Máquina de los Ángeles: Está constituida en la siguiente forma:
- Un tambor cilíndrico hueco de acero (figura 1), de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones (ver figura 1).
- Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.
- Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga la certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.
- Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en la dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña puede

reemplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo. Una carga abrasiva que consiste en esferas de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 g de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la tabla.

Tabla 7. Características De Las Esferas

Tipo	No. De Esferas	Masa de las esferas g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3300 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma ICONTEC.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- La muestra destinada al ensayo se obtiene separado por tamizado las distintas fracciones del agregado.
- Se lava separadamente cada una de las fracciones y luego se introduce en la estufa de secado a una temperatura entre 105° y 110°C, hasta que su masa sea constante.
- Se mezclan las fracciones, eligiendo en la tabla el tipo que más se acerque al usado en la obra, hasta completar unos 5000 g. de muestra.

Tabla 8. Clasificación de la gradación

Tamiz Icontec		Cantidad de muestra en gramos			
		Gradación			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
38.1 mm	25.4 mm	1250 ± 25	--	--	--
25.4 mm	19.0 mm	1250 ± 25	--	--	--
19.0 mm	12.7 mm	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--
12.7 mm	9.51 mm	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--
9.51 mm	6.35 mm	--	--	2500 ± 10	--
8.35 mm	4.76 mm	--	--	2500 ± 10	--
4.76 mm	2.38 mm	--	--	--	5000 ± 10
TOTAL	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma ICONTEC

NORMA ICONTEC – 221. Método Para Determinar El Peso Especifico Del Cemento Hidráulico.

Objetivo. Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.

APARATOS:

- Frasco patrón de Lechatelier: Debe cumplir con las dimensiones indicadas en la figura 1.
- En la determinación del peso específico se debe emplear kerosene libre de agua, o nafta con una gravedad no inferior a 62 A.P.I.

NORMA ICONTEC – 294. Porcentaje De Finura Del Cemento.

Objetivo. Determinar el porcentaje de finura del cemento para conocer las cualidades físicas, la velocidad de hidratación y la calidad del cemento para aumentar su resistencia con el paso de los años.

Para calcular el porcentaje de finura del cemento lo podemos hacer a través de dos métodos un método que llamamos directo el cual se realizado a través del tamiz #200 o del tamiz #325.

El otro método por el cual calculamos la finura del cemento es por el método indirecto el cual podemos realizar por células fotoeléctricas y el turbidímetro de wagner o por medio del aparato de Bleine.

- Factor De Corrección Del Tamiz. El factor de corrección del tamiz es la diferencia entre la cantidad de residuo obtenido y la cantidad de residuo indicada por la finura específica para la muestra, expresada como un porcentaje del residuo original. Determinése la corrección para los tamices usados por ensayo de tamizado en conformidad por ese método usando esferas de vidrio normalizadas para este propósito. Debe observarse que el factor de corrección tal como se especifica es un factor para ser multiplicado por el residuo obtenido y que la cantidad que debe ser agregada o sustraída del residuo en cualquier ensayo e proporcional a la cantidad de residuo.

NORMA ICONTEC – 110. Método para determinar la consistencia normal del cemento.

Objetivo. Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

APARATOS.

- Balanza: Debe tener capacidad para 1 Kg. O más y sensibilidad de 0.1 Gr.
- Probeta: Debe tener una capacidad de 500 Cm³ con una aproximación de 0.03 % a 20°C.
- Pesas.
- Aparato de Vicat: Consiste en un soporte que sostiene un vástago móvil que pesa 300 gr. Uno de sus extremos es denominado sondeo y tiene 10 mm de diámetro y una longitud mínima de 50 mm; el otro extremo tiene una aguja de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago es reversible; puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo y tiene un índice ajustable que se mueve sobre una escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte.
- Molde: El molde en el cual se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica y su base mayor debe reposar sobre una placa de vidrio. El molde debe ser de

material no absorbente que resista física y químicamente el ataque de las pastas de cemento.

El aparato de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 9. Condiciones del Aparato de Vicat.

INSTRUMENTO	MEDIDA (aprox.)
Aparato de Vicat	
Peso de la sonda	300 + 0,5 gr.
Diámetro de la sonda	10 + 0,05 mm
Diámetro de la aguja	1 + 0,05 mm
Molde	
Diámetro interior de la base mayor	70 + 3 mm
Diámetro interior de la base menor	60 + 3 mm
Altura	40 + 1 mm

Fuente: Norma ICONTEC.

Condiciones Ambientales. La temperatura ambiente en la sala de trabajo así como las herramientas y materiales, excepto el agua deben mantenerse entre {20 y 27.5}°C. La temperatura del agua de amasado debe ser de 23 + 1.7°C. La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.

NORMA ICONTEC – 109. Método para determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico por medio de las agujas de Gilmore

Objetivo. Determinar los tiempos de fraguados de pasta de cemento hidráulico por medio de las agujas de Gilmore.

- CEMENTO. Sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua y que se endurece espontáneamente en contacto con el aire. El cemento se fragua o endurece por evaporación del líquido plastificante, como el agua, por transformación química interna, por hidratación o por el crecimiento de cristales entrelazados. Otros tipos de cemento se endurecen al reaccionar con el oxígeno y el dióxido de carbono de la atmósfera.

APARATOS UTILIZADOS

- Balanzas: Error admisible para las balanzas en uso bajo carga de 1000 g puede ser hasta +1gr o – 1gr y para las balanzas nuevas puede llegar hasta la mitad de dicho valor. La sensibilidad reciproca no debe ser mayor del doble del error admisible.
- Pesas: El error admisible de las pesas en uso, empleadas para pesar el cemento. Debe estar de acuerdo con los valores indicado en la siguiente tabla; para pesas nuevas debe ser como máximo la mitad de dichos valores.
- Probetas: Para medir el agua de amasado deben tener una capacidad de 20°C, de: 50 a 200 ml. El error admisible debe ser hasta de 1 ml. Las líneas de graduación principales, deben ser círculos y estar numeradas; las intermedias

deben ocupar por lo menos un quinto de la longitud de las principales y las menores un séptimo. Se pueden omitir las graduaciones para los primeros 5 ml en probetas de 150 ml y para los primeros 10 ml en las de 200 ml.

- Aparato De Gillmore. Consta de Los siguientes elementos:
 - Un soporte con dos brazos rígidamente unidos a él, que mantiene en posición vertical los dispositivos de penetración.
 - Un dispositivo de penetración inicial: Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $113,4 \pm 0,5$
 - El diámetro de la aguja debe ser de $12,2 \pm 0,05\text{mm}$ y su longitud de 4.8mm.
 - Un dispositivo de penetración final: Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. Conjunto debe pesar $1.06 \pm 0,05\text{mm}$ y su longitud 4.8mm.

Condiciones Ambientales: Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

Cámara Húmeda: Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

Preparación De La Pasta. Deben mezclarse 500 g de cemento con el % de agua de amasado requerido para la consistencia normal.

Preparación De La Muestra. Se extiende la pasta sobre una placa de vidrio: luego con ayuda del palustre, se lleva la pasta desde la periferia hacia el centro, hasta formar un tronco de cono de bases paralelas, de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13 mm de altura. Inmediatamente después se alisa la superficie con el palustre. La placa de vidrio debe ser cuadrada, de unos 100 mm de lado, limpia y plana.

Determinación De Los Tiempos De Fraguado. El conjunto constituido por la muestra y la placa, se introduce en la cámara húmeda, hasta que las determinaciones empiecen. El método que se sigue para las penetraciones es el siguiente: la muestra se coloca debajo de los dispositivos de penetración; luego se bajan estos suavemente hasta que descansen sobre ella. Se prosigue el ensayo hasta que las agujas de los dispositivos de penetración no dejen huella sobre la muestra. Los extremos de las agujas deben ser planos y perpendiculares a su eje. Entre cada determinación y la siguiente, la muestra de ensayo debe permanecer en la cámara húmeda.

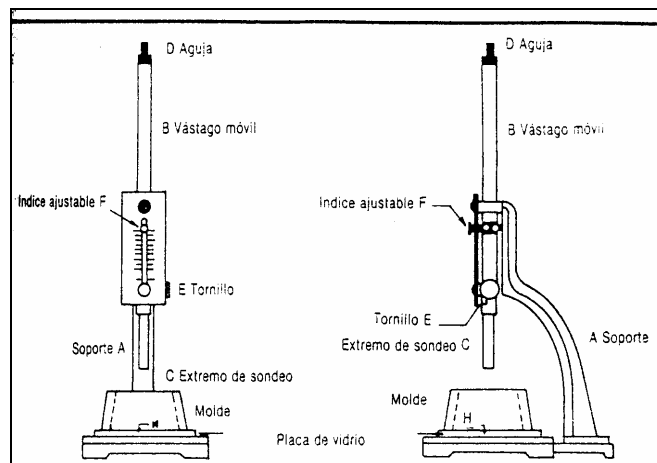
NORMA ICONTEC – 118. Método Para Determinar El Tiempo De Fraguado De Cemento Hidráulico Mediante El Aparato De Vicat

Objetivo. Esta norma por objeto establecer el método de ensayo para determinar le tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

APARATOS UTILIZADOS

- Balanzas: Deben cumplir con los siguientes requisitos: El error admisible para las balanzas en uso Bajo carga de 1000 g puede ser hasta de + o - 1 g para balanzas nuevas puede llegar hasta la mitad de dicho valor. La sensibilidad reciproca no debe ser mayor del doble del error admisible.
- Pesas: El error admisible de las pesas en uso, empleadas para pesar el cemento. Debe estar de acuerdo con los valores indicado en la tabla1; para pesas nuevas debe ser como máximo la mitad de dichos valores.
- Probetas: Para medir el agua de amasado deben tener una capacidad de 20°C, de: 50 a 200 ml. El error admisible debe ser hasta de 1 ml. Las líneas de graduación principales, deben ser círculos y estar numeradas; las intermedias deben ocupar por lo menos un quinto de la longitud de las principales y las menores un séptimo. Se pueden omitir las graduaciones para los primeros 5 ml en probetas de 150 ml y para los primeros 10 ml en las de 200 ml.
- Aparato De Vicat. Debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ICONTEC 110.

Figura 6. Aparato de Vicat.



Fuente: Norma ICONTEC.

La pasta se debe colocar en un anillo tronco-cónico, G, el cual se colocara con su base mayor sobre una placa de vidrio H, aproximadamente de 10 cm de lado. El molde debe fabricarse de material no corrosible ni absorbente, con un diámetro interior de 70 mm en la base, 60 mm en la parte superior y de altura de 40 mm.

Además, el aparato Vicat y el molde deben cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 3.1 de la norma ICONTEC 110.

La escala graduada. Comparada con una escala patrón con exactitud de 0.1mm en todos sus puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0.25mm.

- Reloj: Que permita lecturas es segundos.

Condiciones Ambientales. La temperatura ambiente en la sala de trabajo. Así como la de las herramientas y materiales, excepto el agua, debe mantenerse

entre 20 y 27,5 °C. La temperatura de agua de amasado debe ser de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$. La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.

Cámara Húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se realizó es de tipo experimental Lerna (2002:61p.)

Su objetivo es explicar la relación causa-efecto entre dos o más variables o fenómenos. El investigador modifica intencionalmente el estado de algunos de los sujetos de estudio, introduciendo y manipulando un tratamiento o una intervención (variable independiente o factor casual) que desea estudiar o evaluar.

Las características principales de este tipo de estudio son las siguientes:

- Se requiere mínimo dos grupos: uno experimental y de control. Se aplica la variable independiente solamente al grupo experimental.
- Se comparan los resultados del efecto o resultado (variable dependiente) en los dos grupos.
- Se pueden hacer mediciones antes de aplicar la variable independiente (situación inicial) y al final en los dos grupos.
- Se pueden hacer mediciones solamente al final, en los dos grupos.
- La selección de los dos grupos debe ser aleatoria, es decir, cada sujeto tiene la misma probabilidad de ser asignado a uno u otro grupo. La aleatorización persigue garantizar que ambos grupos tengan las mismas características antes de la intervención, y por lo tanto se controlan otras variables (de confusión) que puedan afectar la relación causa-efecto¹.

3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 FASE I: Recopilación información y selección de los materiales.

- Conformación del marco teórico

¹ Método para Lerna. 2001. p. 61

- Ubicar las fuentes de materiales.
- Mondoñedo.
- La punta.
- Monte colorado.

3.2.2 FASE II: Desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Agregados finos y gruesos.

- Peso específico (1 ensayo)
- Peso unitario (1 ensayo)
- Granulometría. (2 ensayos)
- Desgaste en la máquina de los Ángeles. (1 ensayo)
- Humedad natural (1 ensayo)

Cemento.

- Laboratorio de peso específico. (1 ensayo)
- Laboratorio de finura. (1 ensayo)

Pasta de Cemento

- Tiempos de fraguado. (1 ensayo)
- Consistencia normal del cemento. (1 ensayo)
- VICATT. (1 ensayo)
- GILLMORE. (1 ensayo)

Morteros

- Laboratorio tracción. (1 ensayo estimado)
- Laboratorio compresión. (1 ensayo estimado)

3.2.3 FASE III: Diseño De La Mezcla De Concreto.

- Estudiar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los elementos utilizados en la fabricación del concreto.
- Determinación de la resistencia de diseño.
- Selección de la relación agua - cemento.
- Cálculo del contenido de cemento.
- Estimación de las proporciones de agregados.
- Diseño de la mezcla (30 muestras estimadas)
- Slup “cono de arena – Holandés” (1 ensayo)

3.2.4 FASE IV: Análisis de resultados

- Comparativo con mezclas existentes
- Recopilación de registro fotográfico

3.2.5 FASE V: Ejecución del diseño

- Elaboración del modelo físico
- Conclusiones
- Recomendaciones

3.3 OBJETO DE ESTUDIO

La investigación tuvo como objeto de estudio la optimización de los materiales para un concreto de alta resistencia (4000 – 6000 psi) sin la incorporación de aditivos, las cantidades de material utilizado fue:

- 300 Kg de cemento
- 300 Kg de grava
- 300 Kg de arena

3.4 VARIABLES

Tabla 10. Variables objeto de estudio

CATEGORÍA DE ANÁLISIS	VARIABLE	INDICADORES
Propiedades del concreto hidráulico	Concreto hidráulico	Resistencia a la compresión Manejabilidad Resistencia a la tensión
Optimización	Cemento	Peso específico. Tiempos de fraguado. Consistencia normal. Tiempos de fraguado por VICATT y GILMORE.
	Agregado grueso	Granulometría. Densidad y absorción. Masa unitaria. Contenido de humedad total
	Agregado fino	Peso específico y absorción de la arena. Masa unitaria. Contenido de humedad
Concreto de alta resistencia	Diseños (4000, 5000, 6000) P.S.I	Resistencia a la compresión Manejabilidad Deformación.

3.5 HIPÓTESIS

Con una minuciosa clasificación de los materiales es posible obtener un diseño de alta resistencia sin la necesidad de utilizar ningún tipo de aditivo, que sea utilizado comúnmente para este tipo de hormigones que se encuentran en el mercado.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 FASE I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

4.1.1 Ubicación de las fuentes de material.

Los agregados finos utilizados en el proyecto se obtuvieron de la cantera la punta puesto que en este sitio trabajan con material de río y se decidió realizar los ensayos de laboratorio con este tipo de material por sus características ya que este nos ofrece una mayor resistencia y nos mejora las condiciones del concreto.

El agregado grueso se busco que fuera lo mejor posible y después de analizar las opciones se opto por trabajar con los que utiliza una de las mejores plantas de concretos de la ciudad que es Cemex, el tamaño del agregado grueso obtenido fue de 3/4.

El cemento utilizado es Tipo I que fue producido por la empresa Diamante que es de propiedad de Cemex.

4.2 FASE II: DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

4.2.1 Agregados finos y gruesos

4.2.1.1 peso específico (1 ensayo)

El peso específico y la absorción para las arenas se determinaron siguiendo la NORMA ICONTEC 237 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Para este ensayo escogimos una muestra representativa de arena por cuarteo aproximadamente 799.5gr. Y lo sumergimos en agua por 24 horas, Pasado este lapso de tiempo se tomo el material y se procedió a secar una parte con un secador para que no quedara muy seco y lo restante se seco en una estufa para que no quedara muy húmedo.

Figura 7. Secado del material en una estufa



Figura 8. Secado del material con un secador



Después se tomo un molde troncocónico de dimensiones (4cm parte superior, 9cm parte inferior y 7.5cm. de largo); a continuación se promedio a llenar el molde con 3 capas de arena cada una compactada con 25 golpes, con un vástago que pesa 310gr.

Figura 9. Molde y vástago



Luego se procedió a levantar el tronco cono con lo cual se busco que una parte de la muestra se derrumbara y la otra se mantuviera para de esta manera obtener el peso saturado superficialmente seco (W_{sss}). Después se tomaron 500gr de (W_{sss}) y se depositaron dentro de la probeta llena de agua, y se pesa para obtener el peso sumergido (W_s).

Figura 10. Obtención del peso sumergido



Para finalizar se tomo la muestra y se dejo en el horno por 24 horas de esta manera se obtiene el peso seco (W).

MODELO DE CÁLCULO

Para esta norma se realizaron los siguientes cálculos:

W = PESO SECO

W_S = PESO SUMERGIDO

W_{SSS} = PESO SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO

D_R = DENSIDAD REAL

D_A = DENSIDAD APARENTE

D_{ASS} = DENSIDAD APARENTE Y SUPERFICIALMENTE SECA

% ABS = PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

ARENA DE RIO

DATOS TOMADOS EN EL LABORATORIO

$W = 483.5 \text{ gr}$

$W_S = 798 \text{ gr}$

$W_{\text{probeta}} = 182.5 \text{ gr}$

$$W_S = W_w + W + W_{\text{probeta}}$$

$$798 = W_w + 483.5 + 182.5$$

$$W_w = 798 - 483.5 - 182.5$$

$$W_w = 132 \text{ gr}$$

- $D_R = \frac{W}{(V_a - W_w)}$

$$D_R = \frac{483.5\text{gr}}{204 - 132}$$

$$D_R = 6.71 \text{ gr/cm}^3$$

- $D_A = \frac{W}{(500 - W_w)}$

$$D_A = \frac{483.5}{500 - 132}$$

$$D_A = 1.31 \text{ gr/ cm}^3$$

- $D_{ASSS} = \frac{W_{SSS}}{(W_{SSS} - W_S)}$

$$D_{ASSS} = \frac{500}{500 - 798}$$

$$D_{ASSS} = 1.678\text{gr/ cm}^3$$

- $\%ABS = \frac{W_{Sss} - W}{W} \times 100\%$

$$\%ABS = \frac{500 - 483.5}{483.5} \times 100\%$$

$$\%ABS = 3.413$$

El peso específico y la absorción para las arenas se determinaron siguiendo la NORMA ICONTEC 176 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. El material se escogió de igual manera que la arena por cuarteo estadístico, luego se tomo 5000gr para lavarlo por el tamiz #4 y #12 y se procedió a dejarlo en agua por 24 horas, después de pasadas las 24 horas se seco con una toalla hasta obtener un color mate.

Figura 11. Secado del agregado grueso



Luego se pesa y se obtiene el peso saturado superficialmente seco (W_{sss}); Luego se sumergió el material con una canasta de dimensiones (20cm de alto por 20cm de alto y la abertura de la malla es de 2.4mm)y con esto se obtiene el peso sumergido (W_s).

Figura 12. Obtención del peso sumergido



Por ultimo se llevo la muestra al horno para obtener el peso seco (W).

MODELO DE CÁLCULO

Para esta norma se realizaron los siguientes cálculos:

W = PESO SECO

W_s = PESO SUMERGIDO

W_{sss} = PESO SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO

D_R = DENSIDAD REAL

D_A = DENSIDAD APARENTE

D_{ASS} = DENSIDAD APARENTE Y SUPERFICIALMENTE SECA

% ABS = PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

DATOS TOMADOS EN EL LABORATORIO

$W = 6876.5\text{gr}$

$W_S = 4187\text{gr}$

$W_{SSS} = 6978.5\text{gr}$

- $$D_R = \frac{W}{(W - W_S)}$$

$$D_R = \frac{6876.5}{6876.5 - 4187}$$

$$D_R = 2.55\text{gr/cm}^3$$

- $$D_A = \frac{W}{(W_{SSS} - W_S)}$$

$$D_A = \frac{6876.5}{6978.5 - 4187}$$

$$D_A = 2.46\text{gr/cm}^3$$

- $D_{ASS} = \frac{W_{SSS}}{(W_{SSS} - W_S)}$

$$D_{ASS} = \frac{6978.5}{6978.5 - 4187}$$

$$D_{ASS} = 2.50 \text{ gr/cm}^3$$

- $\%ABS = \frac{W_{SSS} - W}{W} \times 100\%$

$$\%ABS = \frac{6978.6876.5}{6876.5} * 100 = 1.48$$

4.2.1.2 peso unitario (1 ensayo)

El peso unitario de los agregados se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 92 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION.

MASA UNITARIA APISONADA

El agregado se coloca en un recipiente de medidas (para las arenas 15.2cm de diámetro por 15.5cm de alto) y (para las gravas 25.5cm de diámetro por 28cm de alto) en tres capas de igual volumen, hasta llenarlo.

Figura 13. Apisonado del agregado



Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente en cada capa.

MASA UNITARIA VIBRADA

El agregado se colocó en un recipiente de medidas (para las arenas 15.2cm de diámetro por 15.5cm de alto) y (para las gravas 25.5cm de diámetro por 28cm de alto), en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta llenarlo. Cada una de las capas se compacta del siguiente modo, el recipiente se inclina a unos 45° aproximadamente de la base del suelo y se dejó caer libremente. Este procedimiento se repitió 25 veces por lado y lado. Una vez compactada la última capa se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano.

Figura 14. Obtención del peso vibrado



MASA UNITARIA SUELTA

Se lleno el recipiente con el agregado y se descargo a una altura no mayor de 50 mm por encima del borde. Luego se enrazo la superficie del agregado con la mano, de modo que tal que las partes salientes se compensaran con las depresiones que había.

Figura 15. Llenado del molde



MODELO DE CÁLCULO

Suelto Arena:

- Peso unitario = suelto = 4701.5 gr.

Vasija = 4516 gr

$$= 0 = 15,5$$

$$\text{Altura} = 16 \text{ cm}$$

- Peso U = 4640.5 gr
- Peso U = 4634 gr

$$\rho = \frac{\text{peso}}{\text{volumen conocido}} = \frac{\text{Peso U} - \text{Peso vasija}}{\text{volumen conocido}}$$

1.

$$\rho = \frac{4701.5}{2831.68} = 1,66 \text{ gr./cm}^3$$

2.

$$\rho = \frac{4640.5}{2831.68} = 1.69 \text{ gr./cm}^3$$

3.

$$\rho = \frac{4634.5}{2831.68} = 1,64 \text{ gr./cm}^3$$

Promedio = 1.66 gr/cm³



Arenas Apisonadas

1. 5220.5gr.

2. 5065.5 gr.

3. 5070 gr.

1.

$$\rho = \frac{5220.5}{2831.68} = 1,84 \text{ gr./cm}^3$$

2.

$$\rho = \frac{5065.5}{2831.68} = 1.79 \text{ gr./cm}^3$$

3.

$$\rho = \frac{5070}{2831.68} = 1,79 \text{ gr./cm}^3$$

Promedio = 1.81 gr/cm³



Arenas Vibrado

1. 5116.15 gr

2. 5168.5 gr

3. 5111.5gr.

1.

$$\rho = \frac{5116.15}{2831.68} = 1,81 \text{ gr./cm}^3$$

2.

$$\rho = \frac{5168.5}{2831.68} = 1,83 \text{ gr./cm}^3$$

3.

$$\rho = \frac{5111.5}{2831.68} = 1,81 \text{ gr./cm}^3$$

Promedio = 1.82 gr/cm³



Peso unitario Gravas

$$V = \frac{1}{2} \text{ pie}^3 = 0,01415 \text{ m}^3$$

$$W \text{ molde} = 11.231 \text{ Kg.}$$



Grava Suelto

$$1. \quad \frac{32,68 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 1515.83 \text{ kg/m}^3$$

$$2. \quad \frac{21.247 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 707.84 \text{ kg/m}^3$$

$$3. \quad \frac{21.205 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 704.876 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Promedio} = 976.18 \text{ Kg./m}^3$$



Grava Apisonada

$$1. \quad \frac{22.137 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 770.742 \text{ Kg./m}^3$$

2.

$$\gamma_{\text{ap}} = \frac{22.120 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 760.540 \text{ kg/m}^3$$

3.

$$\gamma_{\text{ap}} = \frac{22.411 - 11.231}{0,01415 \text{ m}^3} = 790.106 \text{ kg/m}^3$$

Promedio = 773.796 Kg./m³

4.2.1.3 Granulometría (2 ensayos)

La granulometría se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 32 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se tomaron 2500gr de material fino (arena) y se lavo por el tamiz # 200, luego se metió al horno durante 24 horas. Después de transcurrido este lapso de tiempo hicimos pasar el material por la serie de tamices constituidos de la siguiente manera para el agregado fino, tamiz #4 - #8 - #10 - #40 - # 60 - #80 - #100 - #140 y fondo.

Figura 16. Serie de tamices



Tabla 11. Arena sin lavar y lavada por el tamiz 200

ARENA SIN LAVAR POR EL TAMIZ 200					
PESO DE LA MUESTRA:			2000		
% DE PERDIDAS:			7,15%		
TAMIZ #	PESO RETENIDO gr	D \pm mm	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACUMULADO
4	431	4,75	21,55	78,45	21,55
8	513	2,36	25,65	52,8	47,2
10	65	2	3,25	49,55	50,45
40	422	0,425	21,1	28,45	71,55
60	143	0,25	7,15	21,3	78,7
80	111	0,18	5,55	15,75	84,25
100	22	0,15	1,1	14,65	85,35
140	72	0,106	3,6	11,05	88,95
200	36	0,75	1,8	9,25	90,75
FONDO	42	0	2,1	7,15	92,85
TOTAL	1857		92,85		
ARENA LAVADA POR EL TAMIZ 200					
PESO DE LA MUESTRA:			2000		
% DE PERDIDAS:			14,65%		
TAMIZ #	PESO RETENIDO gr	D \pm mm	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACUMULADO
4	398	4,75	19,9	80,1	19,9
8	512	2,36	25,6	54,5	45,5
10	71	2	3,55	50,95	49,05
40	392	0,425	19,6	31,35	68,65
60	138	0,25	6,9	24,45	75,55
80	100	0,18	5	19,45	80,55
100	42	0,15	2,1	17,35	82,65
140	40	0,106	2	15,35	84,65
200	12	0,75	0,6	14,75	85,25
FONDO	2	0	0,1	14,65	85,35
TOTAL	1707		85,35		

Se tomaron 10000gr de material fino (arena) y se lavo por el tamiz # 200, luego se metió al horno durante 24 horas. Después de transcurrido este lapso de tiempo hicimos pasar el material por la serie de tamices constituidos de la siguiente manera para el agregado fino, tamiz #3/4 - #1/2 - #3/8 - #4 y fondo.

Figura 17. Material seleccionado



Figura 18. Serie de tamices



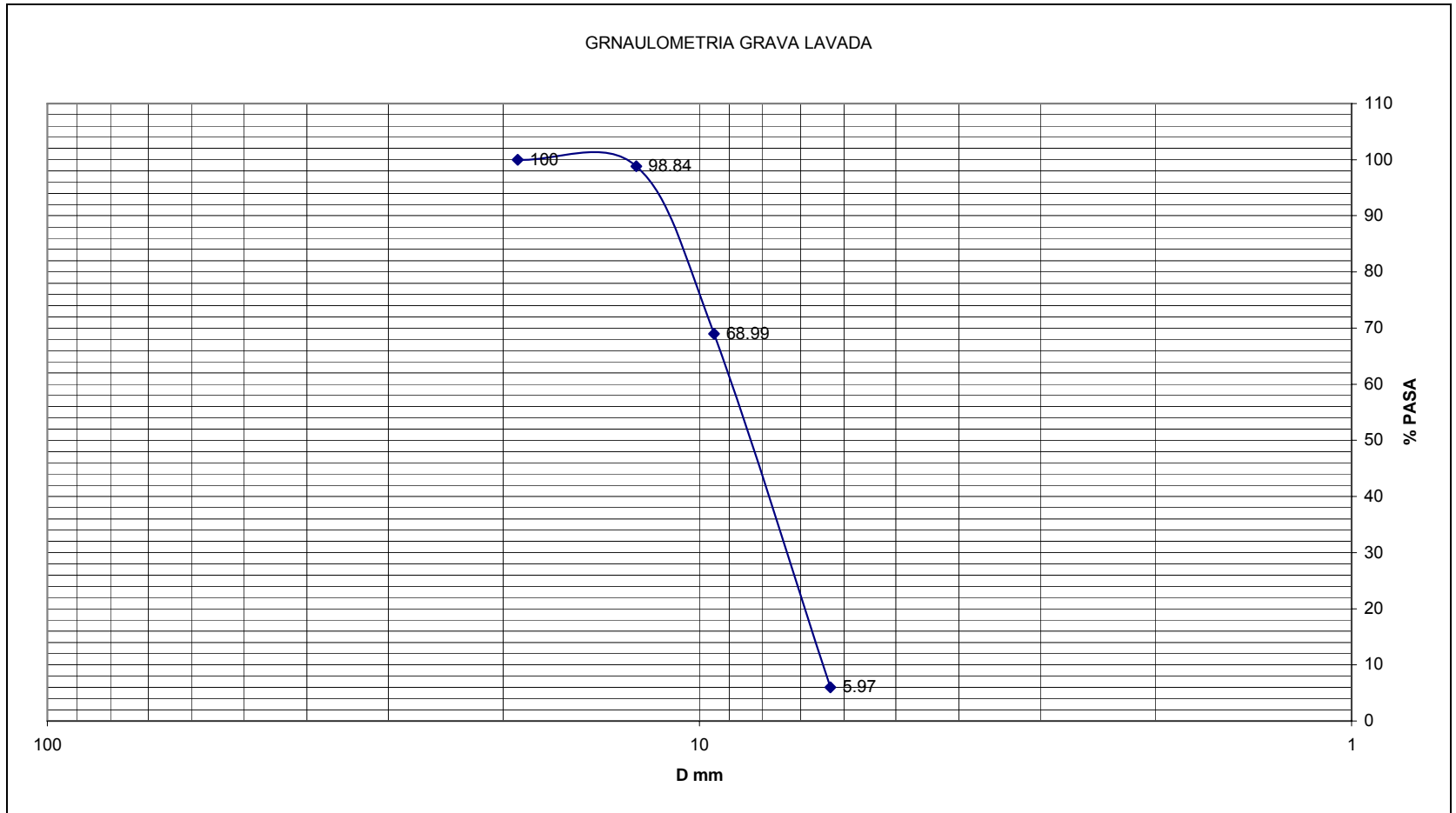
Tabla 12. Grava sin lavar y lavada por el tamiz 200

GRAVA SIN LAVAR POR EL TAMIZ 200					
PESO DE LA MUESTRA:			10000		
% DE PERDIDAS:			0,18%		
TAMIZ #	PESO RETENIDO gr	D Æ mm	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACUMULADO
3/4 "	0	19	0	100	0
1/2 "	112	12,5	1,12	98,88	1,12
3/8 "	3108	9,5	31,08	67,8	32,2
Nº 4	6306	6,3	63,06	4,74	95,26
FONDO	456	0	4,56	0,18	99,82
TOTAL	9982		99,82		
GRAVA LAVADA POR EL TAMIZ 200					
PESO DE LA MUESTRA:			9778		
% DE PERDIDAS:			0,04%		
TAMIZ #	PESO RETENIDO gr	D Æ mm	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACUMULADO
3/4 "	0	19	0	100	0
1/2 "	116	12,5	1,16	98,84	1,16
3/8 "	2985	9,5	29,85	68,99	31,01
Nº 4	6302	6,3	63,02	5,97	94,03
FONDO	371	0	3,71	2,26	97,74
TOTAL	9774		97,74		

Gráfico 1. Grava sin lavar



Gráfico 2. Grava lavada



MODELO DE CÁLCULO

GRAVA SIN LAVAR

Coeficiente de uniformidad **Cu: D60**

D10

$$CU = \frac{9.0}{6.4} = 1.4$$

Según el rango esta mal gradado ya que el $Cu < 5$

Coeficiente de concavidad: **Cc: (D30)²**

(D10)(D60)

$$Cc = \frac{7.4^2}{9.0 * 6.4} = 0.951$$

Según el rango el ideal es $Cc = 1$, ya que lo ideal es que halla un balance entre finos y gruesos y el resultado obtenido fue de $Cc = 0.951$

Tamaño máximo: 3/4

Tamaño máximo nominal: ½

GRAVA LAVADA

Coeficiente de uniformidad **Cu: D60**

D10

Según el rango esta mal gradado ya que el $Cu < 5$

$$CU = \frac{6.4}{7.3} = 0.877$$

Coeficiente de concavidad: **Cc:** $\frac{(D30)^2}{(D10)(D60)}$

$$(D10)(D60)$$

$$Cc = \frac{7.3^2}{6.4 * 8.9} = 0.936$$

Según el rango el ideal es $Cc = 1$, ya que lo ideal es que halla un balance entre finos y gruesos y el resultado obtenido fue de $Cc = 0.936$

Tamaño máximo: 3/4

Tamaño máximo nominal: 1/2

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado } 3/8"; \#100}{100}$$

Modulo de finura = 4.22

Según este valor es probable que se presente segregación ya que no se encuentra entre los valores óptimos que se especifican en la norma $MF = (2.15 - 3.38)$

4.2.1.4 Desgaste en la maquina de los ángeles (1 ensayo)

El desgaste de la maquina de los ángeles se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 98 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se tomaron 5000 g de muestra seca, con una aproximación de 1 g y se colocan junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; se hizo girar con una velocidad entre 30 y 33 rpm, hasta completar 500 vueltas. Luego se retiro el material del cilindro y se tamizo por el tamiz # 12, después el

material que quedo retenido se seco en la estufa a una temperatura entre 105° y 110°C y su masa medida con una aproximación de 1g.

Figura 19. Maquina de los ángeles.



Figura 20. Esferas de la maquina de los ángeles.



MODELO DE CÁLCULO

$$\frac{5000\text{gr} - 3128\text{gr}}{5000\text{gr}} \times 100\% = 37.44\%$$

Según el resultado obtenido es altamente resistente al desgaste.

4.2.1.5 Determinación del contenido de humedad total (1 ensayo)

El desgaste de la maquina de los ángeles se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 1776 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se tomaron 2000gr de material el cual se peso y se procedo a meterlo en el horno durante 24 horas, después de transcurrido este tiempo se saco del horno y se le tomo el peso final al material.

Figura 21. Toma del peso del material



MODELO DE CÁLCULO

Se toma muestra representativa 2000gr para pesarla y secarla

Platón No G 38 = Arena de río

Platón No G1 = Grava

Arena de río.

Peso seco + patón G 38 = 2237gr

Peso del platón = 35

Grava

Peso seco + platón G1= 2309gr

Peso platón = 351gr

Arena de río.

$$P = \frac{(W - D)}{D}$$

$$P = \frac{(2000 - 1877)}{1877} * 100 = 6.55\%$$

Grava.

$$P = \frac{(W - D)}{D}$$

$$P = \frac{(2000 - 1958)}{1958} * 100 = 2.14\%$$

4.2.2 Cemento

4.2.2.1 Laboratorio de peso específico (1 ensayo)

El peso específico del cemento se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 221 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se lleno el frasco de L`CHATELIER con un liquido antifraguante (kerosene), mas o menos entre 0 y 1, se tomaron 64gr de cemento el cual paso por el tamiz # 30, después se vertió suavemente en el frasco para que de esta manera no quedaran partículas adheridas a el, y se tomo la primera lectura.

Figura 22. Cemento tamizado por el # 30



Figura 23. Frasco de L'CHATELIER



Se dejo estabilizar durante 24 horas para después tomar la segunda lectura

MODELO DE CÁLCULO

El peso específico debe calcularse como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de cemento, en gr}}{\text{Volumen desplazado, en ml}}$$

$$\mu = \frac{64\text{gr}}{(21.4\text{cm}^3 - 0.8\text{cm}^3)} = 3.11\text{gr/cm}^3$$

$$\mu = 3.11\text{gr/cm}^3$$

4.2.2.2 Porcentaje de finura (1 ensayo)

El porcentaje de finura del cemento se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 294 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se tomaron 102 gr de cemento Pórtland tipo 1 y se tamizo a través del tamiz 200 se obtuvo un peso retenido de 2.0 gr.

Figura 24. Cemento Pórtland tipo 1



MODELO DE CÁLCULOS

El material se paso a través del tamiz 200.

Peso que se retiene: 2gr

$$\% \text{ de finura} = \frac{102 - 2}{102} * 100 = 98.8 \%$$

4.2.3 Pasta de cemento

4.2.3.1 consistencia normal de cemento (1 ensayo)

La consistencia normal de cemento se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 110 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se tomaron 500 gr de cemento y se le dio forma de cono luego en un hoyo que se abrió en el centro de la mezcla se le agrego una cantidad media de agua, la cual se dejo durante 30 segundos mientras se efectuaba la absorción del agua, después se procedió al mezclado y amasando de la muestra con las manos durante 90 segundos. Luego la pasta de cemento se moldea con las manos dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a otra a través de una distancia de unos 15cm. Posteriormente con la muestra se lleno completamente por la base mayor del molde y se le quito el exceso con la palma de la mano de una sola pasada. Después se coloco la placa de vidrio sobre la base mayor y se volteo el conjunto con la ayuda de un palustre y se le quito el exceso que tuviera la muestra, se lleva el aparato y se centra bajo el vástago se hace descender el mismo hasta que el extremo de la sonda haga contacto con la superficie de la pasta y se fija en esta posición por medio del tornillo, se lee la posición inicial del índice en la escala o se desplaza el índice hasta que coincida con el 0 superior, 30 segundos después de terminada la mezcla se suelta. Se dice que la pasta tiene consistencia normal cuando la sonda penetra 10 ± 1 mm 30 segundos después de haber sido soltada.

Figura 25. Proceso de mezclado



Figura 26. Conjunto (pasta y plaqueta)



MODELO DE CÁLCULO

Se deben utilizar las siguientes convenciones:

- G: Peso de la muestra seca en gramos.

- G_A : Peso o volumen de agua añadida a la muestra para completar el volumen de la probeta, expresada en gramos o en cm^3 según sea el caso.
- V : volumen de la probeta en cm^3 .

Se tomaron 500 gr de cemento.

137.5 cm^3 de agua = al 27% del peso del cemento.

4.2.3.2 Tiempos de fraguado por medio del aparato de Gilmore (1 ensayo)

Los tiempos de fraguado se determinaron siguiendo la NORMA ICONTEC 109 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Se extendió la pasta sobre una placa de vidrio y luego con ayuda del palustre, se formó un tronco de cono de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13mm de altura. Inmediatamente después se aliso la superficie con el palustre.

Figura 27. Aparato de Gillmore



Figura 28. Fraguado final



RESULTADOS PRODUCTO DE LA PRÁCTICA EN EL LABORATORIO

Hora de inicio de la practica: 12:30 p m.

Tiempo de fraguado inicial: 3: 30pm. (3 horas)

Tiempo de fraguado final: 6:45 pm. (6 horas 15 minutos)

4.2.3.3 Tiempos de fraguado por medio del aparato de Vicat (1 ensayo)

Los tiempos de fraguado se determinaron siguiendo la NORMA ICONTEC 118 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. La pasta se preparo rápidamente y se le dio forma esférica con las manos, después se lanzo de una mano a la otra seis veces estando estas a una distancia de 15 cm aproximadamente. Luego se tomo el molde y se presiono la mezcla hasta llenar el molde completamente por la base mayor sobre la placa de vidrio y el exceso lo retiramos con la mano. Después de que terminamos el proceso se procedió hacer el ensayo con el aparato de vicat.

Figura 29. Aparato de Vicat



Tabla 13. Tiempos de fraguado de Vicat

HORA	TIEMPO	PENETRACIÓN (mm)
12:30 pm	30 minutos	40
1:00 pm	1 hora	40
1:30 pm	1 h 30 min	39
1:45 pm	1 h 45 min	39
2:00 pm	2 h	39
2:15 pm	2h 15 min	39
2:30pm	2h 30 min	39
2:45 pm	2h 45 min	38
3:00 pm	3h	33
3:15 pm	3h 15 min	31
3:30 pm	3h 30 min	31
3:45 pm	3h 45 min	27
4:00 pm	4h	26
4:15 pm	4h 15 min	21
4:30 pm	4h 30 min	20

El tiempo de fraguado que se obtuvo nos permitió saber el tiempo con el que se cuenta para la maleabilidad y la manejabilidad del concreto.

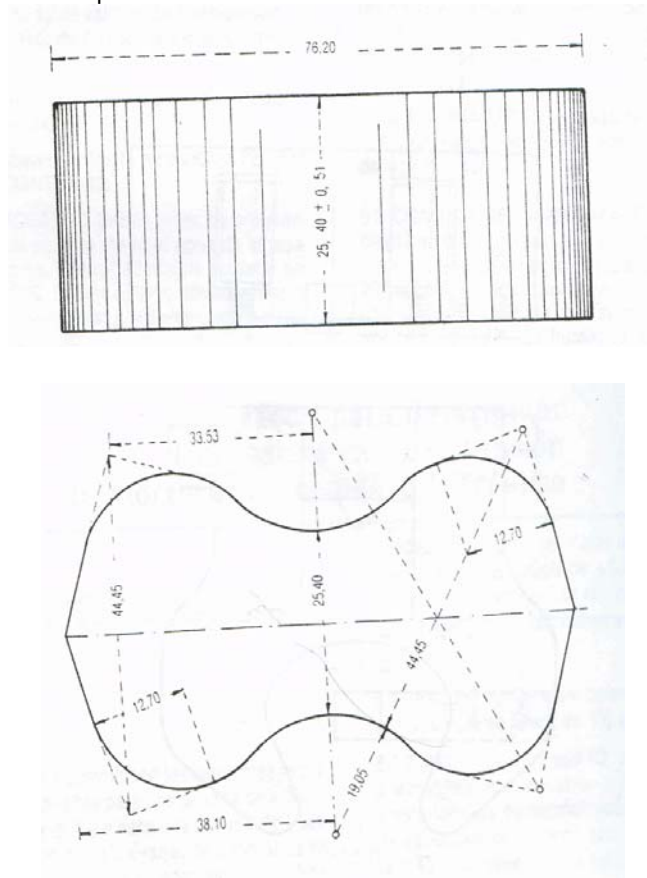
4.2.4 Morteros

4.2.4.1 Tracción de briquetas (1 ensayo)

La tracción de briquetas se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 119 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE

LA CONSTRUCCION. Para la fabricación de las briquetas fue necesario regirnos a las dimensiones que se muestran en la figura 30.

Figura 30. Dimensiones de la briquea



Para la obtención del mortero fue necesario calcular el porcentaje de agua necesario para producir pasta de cemento de consistencia normal.

Figura 31. Amasado de la mezcla



Fue necesario determinar la fluidez del mortero por medio de la mesa de flujo contenido en la NORMA 111 de las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION este ensayo se realizó para determinar la cantidad de agua de amasado del mortero para la fabricación de las briquetas utilizadas para el ensayo de resistencia a la tensión.

Se fabricó un mortero con proporciones 1:2.75, gradado por los tamices No 4 y No 8.

Teniendo los aparatos listos y el concreto preparado se procedió a colocar el molde en le centro de la mesa de flujo en el cual se vertió la mezcla en dos capas apisonando cada una con 20 golpes del compactador uniformemente distribuidos, después de llenado el molde se limpió y se secó la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que esta en la base del molde, después de un minuto se quito el molde por medio de un movimiento vertical y se dejó caer la

plataforma desde una altura de 25mm, 25 veces en aproximadamente 15 segundos. Luego se midió el diámetro de la base de la muestra a lo largo de 4 diámetros uniformemente distribuidos y se calculó el diámetro promedio, este procedimiento se repitió variando la cantidad de agua hasta que se obtuvo un porcentaje de fluidez de 110% calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fluidez} = \left(\frac{\text{Diametro promedio} - 101.6mm}{101.6mm} \right) * 100$$

$$\% \text{ fluidez} = \left(\frac{21.07 - 10.05cm}{10.05cm} \right) * 100$$

$$\% \text{ fluidez} = 109.75$$

Figura 32. Mesa de flujo



Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Porcentaje de fluidez y porcentaje de agua

	Diámetro promedio (cm)	% de fluidez
Prueba No 1	16.07	58.23
Prueba No 2	17.57	63.15
Prueba No 3	18.29	70.26
Prueba No 4	19.49	82.23
Prueba No 5	19.58	91.31
Prueba No 6	20.02	96.40
Prueba No 7	20.78	98.32
Prueba No 8	21.07	109.75

Ensayo de tensión se realizó empleando un mortero 1:3 y la granulometría de la arena tenía que pasar por los tamiz #20 y quedar retenido en el tamiz # 30. La cantidad de agua que se utilizó en la mezcla dependía de la relación agua-cemento para pasta normal utilizando la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{2p}{3(n+1)} + k$$

El mortero que se preparó se colocó en sus respectivos moldes se realizaron 9 briquetas de las cuales 3 se fallaron a tensión a los 3 días, 3 a los 7 días y 3 a los 28 días.

Para la preparación de las briquetas se debió comprimir con los pulgares la mezcla en el molde 12 veces bien repartidos por los dos lados, se tasa y se deja en cámara húmeda por 24 horas. Luego se desmoldan y se sumergen en agua limpia, sacándolas a las diferentes edades a las que fueron falladas.

Figura 33. Llenado de los moldes

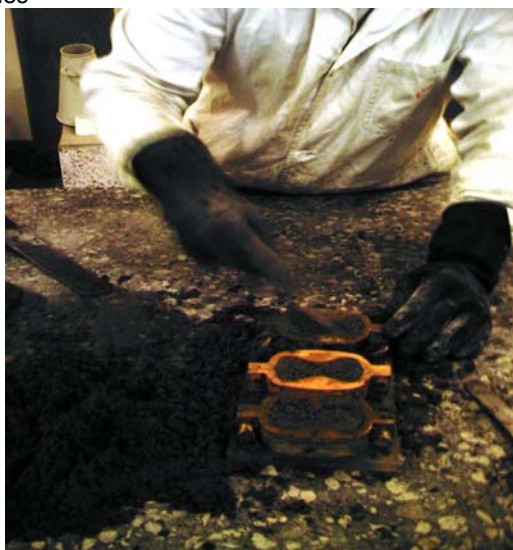


Figura 34. Llenado de los moldes



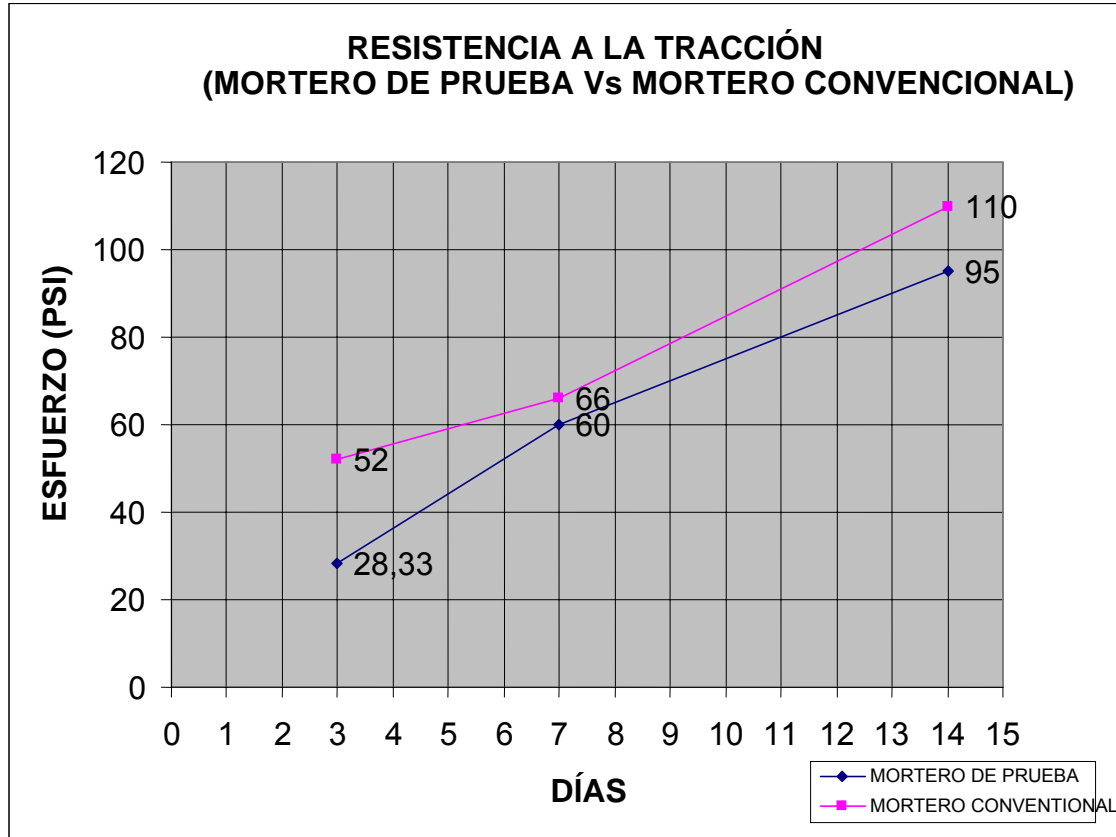
Figura 35. Falla de al briqueta por tracción



Tabla 15. Resistencia de las briquetas

RESISTENCIA (lb./pulg ²)			
PRUEBA N ₀	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
1	25	60	95
2	25	55	80
3	35	65	110

Gráfico 3.Resistencia a la tracción



4.2.4.2 Compresión de cubos (1 ensayo)

La Compresión de cubos se determinó siguiendo la NORMA ICONTEC 220 contenida en las NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. El ensayo se realizo con base al ensayo de fluidez para una consistencia plástica del mortero la cual tiene un porcentaje de fluidez del 109.75% determinado en la mesa de flujo. Para los 9 cubos de prueba que son requeridos por la norma la dosificación fue de 2036g de arena, 740 g de cemento 384.4 ml de agua con una relación agua – cemento de 0.52. Después de

obtenidas las mezclas se procedió a introducirlas en los moldes previamente limpios y engrasados como se muestra en la figura 36.

Figura 36. Mezclas en los moldes de cubos



Después de terminar el proceso de llenado la muestra se dejó fraguar durante un periodo de 24 horas, transcurrido este tiempo se desmoldaron los cubos y se sumergieron en agua limpia dentro de un tanque de almacenamiento.

Figura 37. Proceso de llenado de los cubos



Los cubos fueron retirados del tanque de almacenamiento e inmediatamente fueron pesados, medidos y trasladados a la maquina de ensayo.

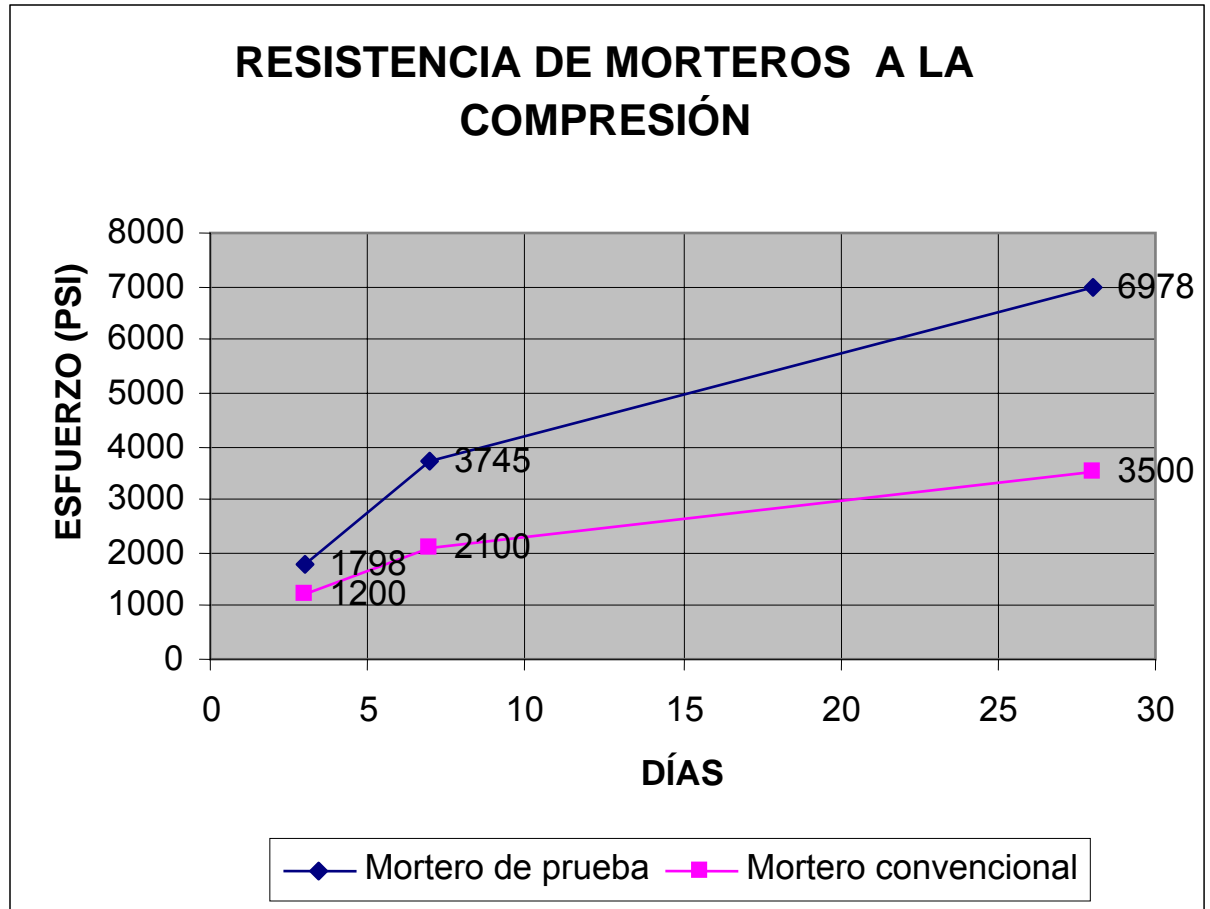
Figura 38. Lectura de la falla de los cubos



Tabla 16. Resistencia de los cubos a la compresión

RESISTENCIA (lb./pulg2)			
PRUEBA N ₀	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
1	1855	3460	6490
2	1830	4165	6975
3	1710	3610	7470

Gráfico 4. Resistencia a la compresión



4.3 FASE III: DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO.

4.3.1 Determinación de la resistencia de diseño

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI 4000 PSI.

MODELO DE CÁLCULO

Los siguientes datos son los que hemos obtenidos a lo largo del curso:

Tabla 17. Datos de entrada.

	GRAVA	ARENA
DENSIDAD ESPECIFICA APARENTE	1.71 Kg/m ³	3,98 Kg/m ³
PESO UNITARIO	773,796 Kg/m ³	1806 Kg/m ³

PESO UNITARIO SUELTO	976,182 Kg/m ³	1660 Kg/m ³
% DE ABSORCIÓN	1,476 %	6%
W %	2,14%	1%

CEMENTO

%FINURA = 98%

H₂O = 290 Kg/m³

H₂O = POTABLE LIBRE DE SALES

SLUMP = 4"

DISEÑO

F'c = 4000 Psi 281.23 Kg/cm³

Tabla 18. Granulometría

TAMIZ	GRAVAS	ARENAS
1 ½	100	
1	96	
¾	70	
½	42	
3/8	12	
# 4	6	100
# 8	2	92
# 16		62
# 30		30
# 50		18
# 100		10
# 200		5

- DETERMINAR EL SLUMP = 10,16 cm
- TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 3/4"
- PORCENTAJE DE AIRE = 1,7 = 2%
- DETERMINACIÓN DEL AGUA = 195 Kg/m³ de Hormigón
- RELACIÓN AGUA CEMENTO

A/C = 0,52 concreto sin aire incluido

- CANTIDAD DE CEMENTO

$$\frac{H_2O}{A/C} = \frac{195}{0,52} = 375 \text{ Kg/m}^3 \text{ de Hormigón}$$

$$\% \text{ cemento} = \frac{C}{\mathcal{H}} = \frac{375 \text{ Kg/m}^3}{3110 \text{ Kg/m}^3} = 0,12 \text{ m}^3 \text{ de cemento / m}^3 \text{ de hormigón}$$

- VOLUMEN DE AGREGADOS

$$\% \text{ del agregado} = 1 - (H_2O + \% C + \% \text{ Aire atrapado})$$

$$\% = 1 - (0.195 \text{ m}^3 + 0.120 \text{ m}^3 + 0.02)$$

$$\% = 0.665 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de hormigón}$$

$$\% \text{ de grava} = 0.655 \times 0.39 = 0.26 \text{ m}^3 \text{ de grava / m}^3 \text{ de hormigón}$$

$$\% \text{ de arena} = 0.655 \times 0.99 = 0.65 \text{ m}^3 \text{ de arena / m}^3 \text{ de hormigón}$$

- DENSIDAD PROMEDIA DE LOS AGREGADOS

$$\bar{d} = (\bar{d}.\text{arena} \times \%) + (\bar{d}.\text{grava} \times \%)$$

$$\bar{d} = (3.98 \times 0.39) + (1.71 \times 0.61)$$

$$\bar{d} = 2.5953 \text{ Kg / m}^3 \text{ de hormigón}$$

- DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS

$$\text{Grava} = 0.4056 \times 2.5953 \times 0.61 = 0.64211 \text{ Kg / m}^3 \text{ de hormigón}$$

$$\text{Arena} = \text{Y del agregado} \times d \times \% \text{ grava}$$

$$\text{Arena} = 0.25545 \times 2.5953 \times 0.39 = 0.25855 \text{ Kg / m}^3 \text{ de hormigón}$$

- AJUSTE DE LOS AGREGADOS POR HUMEDAD

$$\text{Grava} = \text{determinación de } (1 + \% w) \text{ los pesos secos}$$

$$\text{Grava} = 0.64211 (1 + 0.0214)$$

$$\text{Grava} = 0.6558 \text{ Kg / m}^3 \text{ de hormigón}$$

$$\text{Arena} = \text{determinación de } (1 + \% w) \text{ los pesos secos}$$

$$\text{Arena} = 0.25855 (1 + 0.01)$$

$$\text{Arena} = 0.2611 \text{ Kg / m}^3 \text{ de hormigón}$$

- AJUSTE DEL AGUA

$$\text{Grava} = 1.476\% \rightarrow 0.6558 \times 0.01476 = 0.00968$$

$$\text{Arena} = 6\% \rightarrow 0.2611 \times 0.06 = 0.015666$$

$$\Sigma = 0.00968 + 0.015666 = 0.02535 \text{ Litros de agua}$$

$$195 - 0.02535 = 194.975 \text{ Lt de H}_2\text{O / m}^3 \text{ de hormigón}$$

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO GRAFICO 5000 PSI.

Se desea diseñar una mezcla, características, requiere un $f_c = 5000$ PSI.

Los materiales tienen las siguientes características

- Agua de calidad reconocida.
- Agregado grueso: cumple con la norma Icontec 174 y su análisis granulométrico se muestra se presenta en la siguiente tabla.
- Masa unitaria suelta 976.18 kg/m^3
- Masa unitaria compacta 773.79 kg/m^3
- Densidad aparente seca 1.71 gr/cm^3
- Absorción 1.476%
- Humedad natural 2.14%
- Forma Redondeada de río

Tabla 19. Granulometría de los agregados gruesos

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS NORMA ICONTEC 32					
TAMIZ		Peso retenido en gramos	% Retenido	%retenido acumulado	% Pasa
mm	pulg				
19	3/4	0	0,00	0,00	100,00
12,7	1/2	116	1,19	1,19	98,81
9,51	3/8	2985	30,54	31,73	68,27
4,76	No 4	6302	64,48	96,20	3,80
FONDO		371	3,80	100,00	0,00
TOTAL		9774	100,00		
TAMAÑO MAXIMO = $\frac{3}{4}$			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL = $\frac{1}{2}$		

- Agregado fino: cumple con la norma icontec 174 su análisis granulométrico se muestra en la tabla.

- Masa unitaria suelta 1.66 gr/cm³
- Masa unitaria compacta 1.81 gr/cm³
- Densidad aparente seca 1.79 gr/cm³
- Absorción 3.412%
- Humedad natural 6.55%
- Contenido de materia orgánica 0.21% (dato de laboratorio)
- Forma Redondeada de río

Tabla 20. Granulometría de agregados finos

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS NORMA ICONTEC 32					
TAMIZ		Peso retenido en gramos	% Retenido	%retenido acumulado	% Pasa
Mm	pulg				
4,76	No 4	398	23,32	23,32	76,68
2,38	No 8	512	29,99	53,31	46,69
2	No 10	71	4,16	57,47	42,53
0,425	No 40	392	22,96	80,43	19,57
0,250	No 60	138	8,08	88,52	11,48
0,180	No 80	100	5,86	94,38	5,62
0,159	No 100	42	2,46	96,84	3,16
0,106	No 140	40	2,34	99,18	0,82
4,76	No 200	12	0,70	99,88	0,12
FONDO		2	0,12	100,00	0,00
TOTAL		1707	100,00		
TAMAÑO MAXIMO = ¾			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL = 1/2		

- Determinación de resistencia de diseño.

Tabla 21. Resistencia requerida

<i>Resistencia especificada f'c (kg/cm²)</i>	<i>Resistencia de diseño de la mezcla f'cr (kg/cm²)</i>
Menos de 210 kg/cm ²	f'c + 70 kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	f'c + 85 kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	f'c + 100 kg/cm ²

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero, Pontificia Universidad Javeriana, Ed. Bhandar editores, Bogotá, 2001. p. 237.

Más de 350 Kg/cm². Según tabla 21.

$$F'cr = f'c + 100 \text{ kg/cm}^2 = 450 \text{ kg/cm}^2$$

- Selección de la relación de agua – cemento

Para f'cr = 450 kg/cm²

Tabla 22. A/C = 0.49

Tabla 22. Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua – cemento para los cementos colombianos, Pórtland tipo I, en concreto sin aire incluido.

<i>Resistencia a la compresión kg/cm²</i>	<i>Relación agua-cemento en peso</i>		
	<i>Límite superior</i>	<i>Línea media</i>	<i>Límite inferior</i>
140	–	0.72	0.65
175	–	0.65	0.58
210	0.70	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente. Ibid., p. 238.

- Cálculo de contenido de cemento.

Tamaño máximo del agregado grueso 19.05mm

Tabla 23. asentamientos entre 50 mm – 100 mm se toma 60mm es decir 6cm.

Tabla 23. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración. (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Ibid., p. 228.

Contenido agua tabla 24 = 184.6lt

Tabla 24. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m³ de concreto							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Ibid., p. 233.

$$C = \frac{184.6lt}{0.49} = 376.73kg / m^3$$

Se calcula por Bolomay la granulometría ideal.

Tabla 25. Optimización de la granulometría.

Tamiz		3/4"
"	mm	
¾	19,05	100
½	12,7	82,38
3/8	9,525	71,88
No 4	4,75	51,94
No8	2,36	37,79
No10	2,0	35,11
No40	0,425	18,34
No60	0,250	14,99
No80	0,180	13,33
No100	0,150	12,52
No140	0,106	11,16
No200	0,075	10,02

La línea vertical muestra una combinación aproximada de 39% de agregado fino y 61% de agregado grueso.

Volumen absoluto de los agregados

Cemento.

$$V_c = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}} = \frac{376.3}{3.10} = 121.38 \text{ l} / \text{m}^3$$

Agua.

$$V_{H2O} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}} = \frac{184.6}{1.00} = 184.6 \text{ l} / \text{m}^3$$

$$V_r = 1.000 - (121.38 + 184.6 + 0) = 6.94 \text{ l}$$

Densidad aparente seca de la mezcla de los dos agregados.

$$G_a = \frac{1.71 * 1.79}{1.71 * 0.39 + 2.51 * 0.61} = 1.39 \text{ g} / \text{m}^3$$

Peso seco de los dos agregados combinados es:

$$Pr = 694(1.39) = 964.66 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Pesos seco de los agregados gruesos y agregados finos seran:

$$Pag = 964.66 * (0.61) = 588.44 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$Paf = 964.66 * (0.39) = 376.22 \text{ kg} / \text{m}^3$$

AJUSTE POR HUMEDAD.

Pesos húmedos.

$$\text{Peso húmedo A. grueso} = 588.44 * (1 + 0.0214) = 601.03 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo A. fino} = 376.22 * (1 + 0.0655) = 400.86 \text{ Kg/m}^3$$

Valor del agua libre

$$Aa = -588.44 * (0.0214 - 0.01476) - 376.22 * (0.0655 - 0.03412) = -15.71 \text{ L/m}^3$$

El requerimiento de agua de mezclado corregida al hacer la dosificación es:

$$184.6 \text{ Lt} - 15.71 \text{ Lt} = 168.88 \text{ Lt}$$

Ajuste a la mezcla de prueba

Para tomar 10 cilindros de prueba, tenemos las siguientes cantidades.

Tabla 26. Dosificación del diseño de mezcla.

ingrediente	peso seco	peso húmedo	peso húmedo para 100 L en Kg
cemento	376,73	376,73	37,673
agua	184,6	168,88	16,88
aire	0	0	0
agregado grueso	588,44	601,03	60,1
agregado fino	376,22	400,86	40,08
TOTAL	1525.9	1547.77	154.73

PESOS AJUSTADOS POR HUMEDAD.

$$1547.77 - 1525.9 = (588.44 \cdot 0.03412 - 376.22 \cdot 0.01476)$$

DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO GRAFICO 6000 PSI.

Se desea diseñar una mezcla, características, requiere un $f_c = 6000$ PSI.

Los materiales tienen las siguientes características

- Agua de calidad reconocida.
- Agregado grueso: cumple con la norma Icontec 174 y su análisis granulométrico se muestra se presenta en la siguiente tabla.
- Masa unitaria suelta 976.18 kg/m^3
- Masa unitaria compacta 773.79 kg/m^3
- Densidad aparente seca 1.71 gr/cm^3
- Absorción 1.476%
- Humedad natural 2.14%
- Forma Redondeada de río

Tabla 27. Granulometría de los agregados gruesos

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS NORMA ICONTEC 32					
TAMIZ		Peso retenido en gramos	% Retenido	%retenido acumulado	% Pasa
Mm	pulg				
19	3/4	0	0,00	0,00	100,00
12,7	1/2	116	1,19	1,19	98,81
9,51	3/8	2985	30,54	31,73	68,27
4,76	No 4	6302	64,48	96,20	3,80
FONDO		371	3,80	100,00	0,00

TOTAL	9774	100,00		
TAMAÑO MAXIMO = ¾		TAMAÑO MAXIMO NOMINAL = 1/2		

- Agregado fino: cumple con la norma icontec 174 su análisis granulométrico se muestra en la tabla.
- Masa unitaria suelta 1.66 gr/cm³
- Masa unitaria compacta 1.81 gr/cm³
- Densidad aparente seca 1.79 gr/cm³
- Absorción 3.412%
- Humedad natural 6.55%
- Contenido de materia orgánica 0.21%
- Forma Redondeada de río

Tabla 28. Granulometría de los agregados finos

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS NORMA ICONTEC 32					
TAMIZ		Peso retenido en gramos	% Retenido	%retenido acumulado	% Pasa
Mm	pulg				
4,76	No 4	398	23,32	23,32	76,68
2,38	No 8	512	29,99	53,31	46,69
2	No 10	71	4,16	57,47	42,53
0,425	No 40	392	22,96	80,43	19,57
0,250	No 60	138	8,08	88,52	11,48
0,180	No 80	100	5,86	94,38	5,62
0,159	No 100	42	2,46	96,84	3,16
0,106	No 140	40	2,34	99,18	0,82
4,76	No 200	12	0,70	99,88	0,12
FONDO		2	0,12	100,00	0,00
TOTAL		1707	100,00		
TAMAÑO MAXIMO = ¾			TAMAÑO MAXIMO NOMINAL = 1/2		

- Determinación de resistencia de diseño.

Tabla 21.

Más de 350 Kg/cm²

$$F'_{cr} = f'_c + 100kg / cm^2 = 467kg / cm^2$$

- Selección de la relación de agua – cemento.

Para $f'_{cr} = 467kg/cm^2$

Tabla 22 A/C = 0.66

- Calculo de contenido de cemento.

Tamaño máximo del agregado grueso 19.05mm

Tabla 23 asentamientos entre 50 mm – 100 mm se toma 60mm es decir 6cm.

Contenido agua tabla 24 = 184.6lt

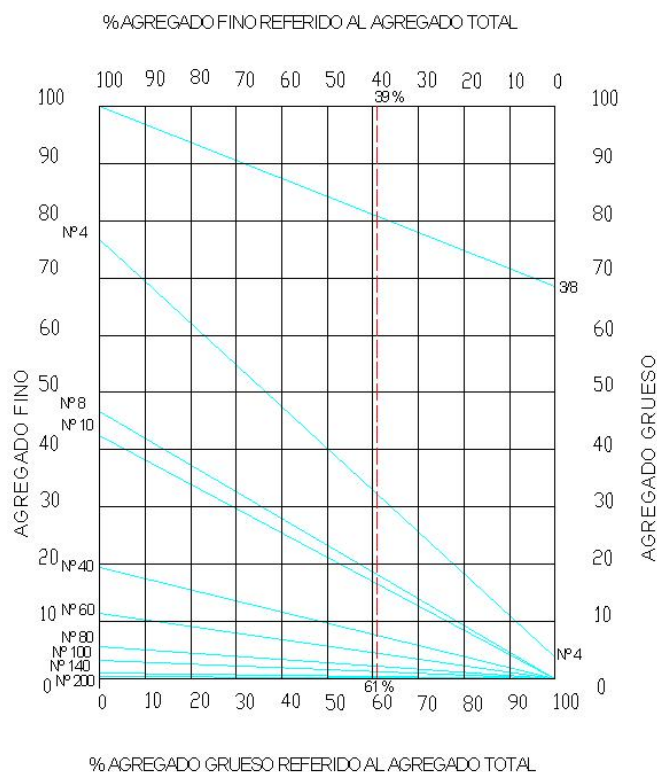
$$C = \frac{184.6lt}{0.66} = 279.70kg / m^3$$

Se calcula por Bolomay la granulometría ideal.

Tabla 29. Optimización de la granulometría

Tamiz		3/4"
"	mm	
¾	19,05	100
½	12,7	82,38
3/8	9,525	71,88
No 4	4,75	51,94
No8	2,36	37,79
No10	2,0	35,11
No40	0,425	18,34
No60	0,250	14,99
No80	0,180	13,33
No100	0,150	12,52
No140	0,106	11,16
No200	0,075	10,02

Grafico 5.Diseño de 6000 PSI método grafico tabla de Bolomay



La línea vertical muestra una combinación aproximada de 39% de agregado fino y 61% de agregado grueso.

Volumen absoluto de los agregados

Cemento.

$$V_c = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}} = \frac{279,70}{3.100} = 0.9022 \text{ l} / \text{m}^3$$

Agua.

$$V_{H20} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}} = \frac{184.6}{1.000} = 0.1800 \text{ l} / \text{m}^3$$

$$V_r = 1 - (0.9022 + 0.1800 + 0) = 0.725 \text{ l}$$

Densidad aparente seca de la mezcla de los dos agregados.

$$Ga = \frac{1.71 * 1.79}{1.71 * 0.39 + 2.51 * 0.61} = 1.39 \text{ g} / \text{m}^3$$

Peso seco de los dos agregados combinados es:

$$Pr = 725(1.39) = 1007.75 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Pesos seco de los agregados gruesos y agregados finos serán:

$$Pag = 1007.75 * (0.61) = 614.73 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$Paf = 1007.75 * (0.39) = 393.02 \text{ kg} / \text{m}^3$$

AJUSTE POR HUMEDAD.

Pesos húmedos.

$$\text{Peso húmedo A. grueso} = 614.73 * (1 + 0.0214) = 627.89 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo A. fino} = 393.02 * (1 + 0.0655) = 418.76 \text{ Kg/m}^3$$

Valor del agua libre

$$Aa = -614.73 * (0.0214 - 0.01476) - 393.02 * (0.0655 - 0.03412)$$

$$Aa = - 16.415 \text{ L/m}^3$$

El requerimiento de agua de mezclado corregida al hacer la dosificación es:

$$184.6 \text{ Lt} - 16.415 \text{ Lt} = 168.19 \text{ Lt}$$

Ajuste a la mezcla de prueba

Para tomar 10 cilindros de prueba, tenemos las siguientes cantidades.

Tabla 30. Dosificación del diseño de mezcla.

ingrediente	peso seco	peso húmedo	peso húmedo para 100 L en Kg
cimento	279.79	279.70	27.970
agua	184,6	168,19	16,819
aire	0	0	0
agregado grueso	614.73	627.89	62.789
agregado fino	393.02	418.76	41.816
TOTAL	1475.14	1494.54	149.394

La determinación de la resistencia a compresión de cilindros de hormigón, para la fabricación del concreto se realizo tres mezclas de diferentes proporciones, con el fin de obtener la mezcla más favorable en el momento de aplicar esta clase de concreto.

Luego de tener la mezcla lista y el molde cónico previamente humedecido y colocado sobre una superficie plana no absorbente se procedió a llenar dicho molde con el hormigón en tres capas, cada una de ellas de aproximadamente de un tercio del volumen del molde. Cada capa se compacto con 25 golpes de la varilla.

Figura 39. Compresión con la varilla

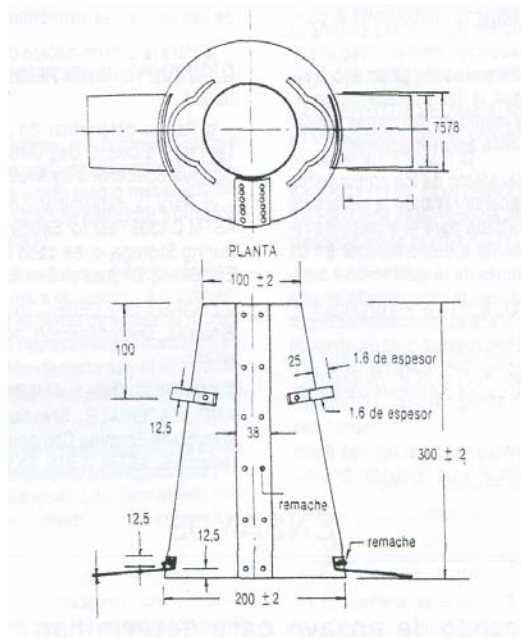


Después de que la última capa se compacto y se aliso a ras y se retiro el molde alzándolo en dirección vertical, inmediatamente se midió el asentamiento con la ayuda de un flexometro.

Figura 40. Prueba de Slump

Este ensayo se repito para cada una de las mezclas variando la cantidad de agua hasta que se obtuvo el asentamiento propuesto.

Figura 41. Molde cónico



Que posteriormente fueron mezcladas con una cantidad de agua aleatoria. Este proceso se realizo de forma manual (ver figura 41).

Figura 42. Mezcla del agregado y el cemento



Este hormigón se vació en los moldes cilíndricos en tres capas (ver figura 42), compactando cada una de estas con 25 golpes de la varilla compactadora

distribuidos en la sección transversal del molde, terminado este proceso se dejaron fraguar por un periodo de 24 horas.

Figura 43. Cilindro vaciado con concreto



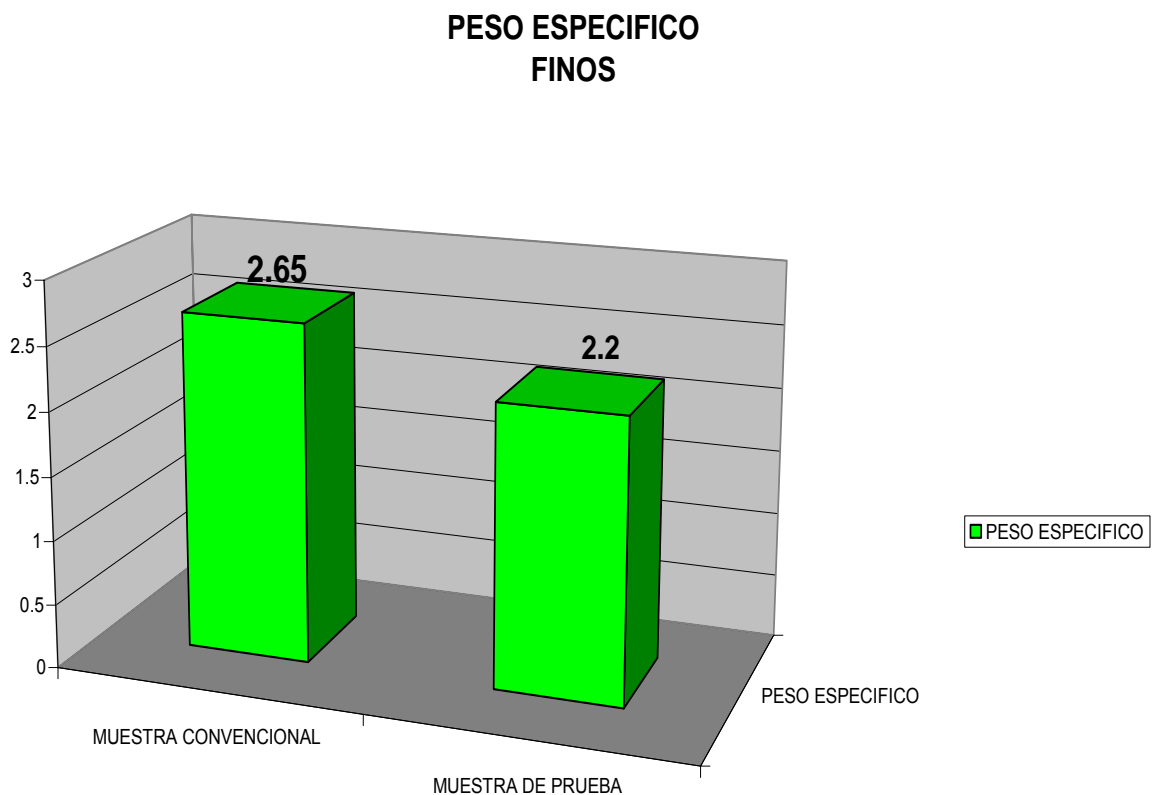
Se realizaron 3 cilindros de cada una de las mezclas, para ser fallados a los 7, 14 y 28 días de fabricados. Cumplida la edad de las muestras estipulada para fallarse, se retiraron del tanque de agua, se tomo su peso y sus dimensiones e inmediatamente fueron trasladados a la maquina de ensayo donde se coloco cada cilindro sobre la placa inferior de dicha maquina, dejándolo perfectamente alineado con el eje de la placa superior. Posteriormente se le aplico una carga axial a una velocidad de 0.23 MPa/s.

4.3.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De los ensayos realizados durante el transcurso de la investigación se pudo llegar a la siguiente interpretación de resultados:

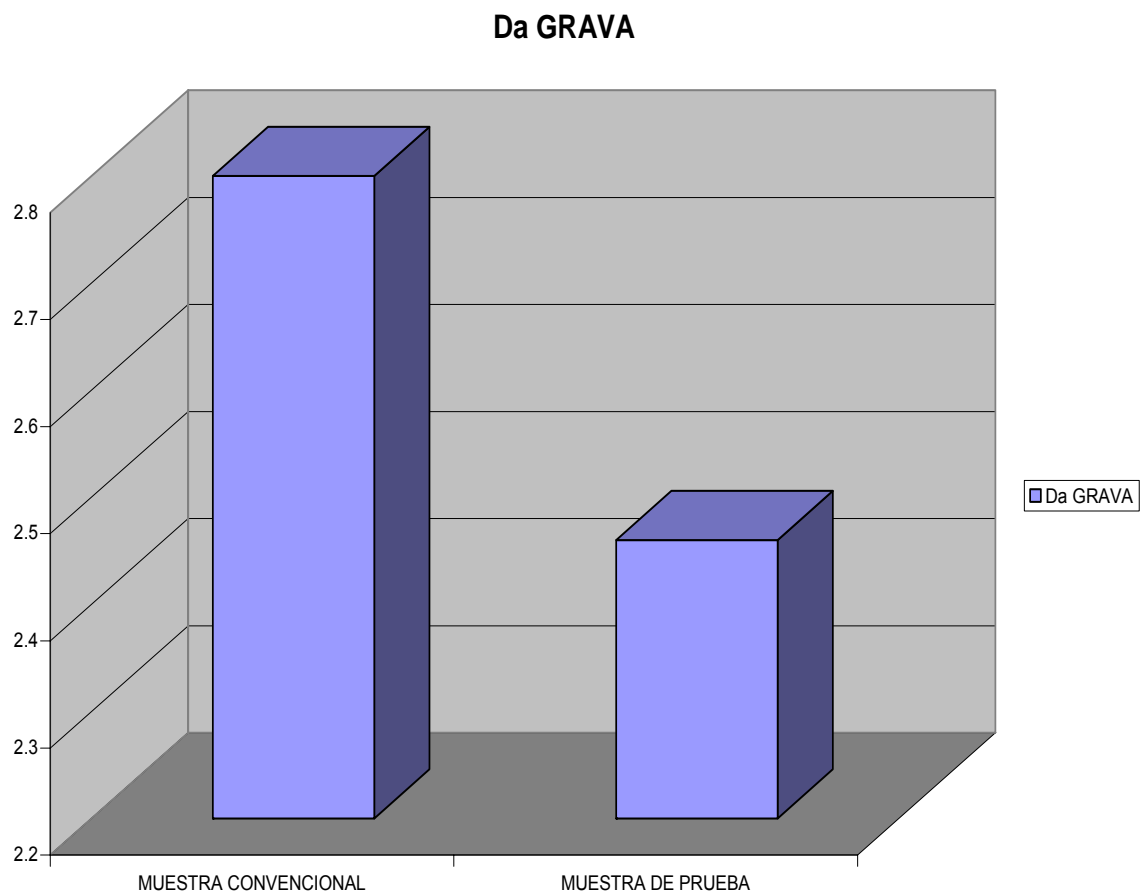
- En la comparación que se realizó con respecto al peso específico de las arenas convencionales se observó que al realizar la optimización de la arena se bajó el peso específico en un 17% del agregado convencional

Grafico 6. Peso específico



- La densidad aparente es uno de los parámetros de mayor importancia en el diseño de mezcla de hormigón ya que de ella se determinan la cantidad en peso del agregado esta a su vez depende de la cantidad de huecos o poros que tenga el agregado, de lo que se puede decir es que es inversamente proporcional al volumen de poros y su valor oscila entre 2.30gr/cm^3 y 2.8gr/cm^3 según la roca de origen, para el ensayo que se realizó se obtuvo un valor de 2.46gr/cm^3 , de lo cual se puede decir que pertenece al grupo de rocas pedernalino.

Grafico 7. Densidad Aparente



- En cuanto a la absorción de los agregados es una parte fundamental en la elaboración de un diseño, puesto que si el porcentaje de absorción es elevado nos indica que el material es de alta porosidad, esto afecta directamente en la dosificación del agua puesto que aumenta y esto hace que disminuya la resistencia del hormigón. En el diseño que realizamos la absorción se encontraba en un término medio el cual nos dio 3.413%.

Grafico 8. Absorción del Agregado Grueso

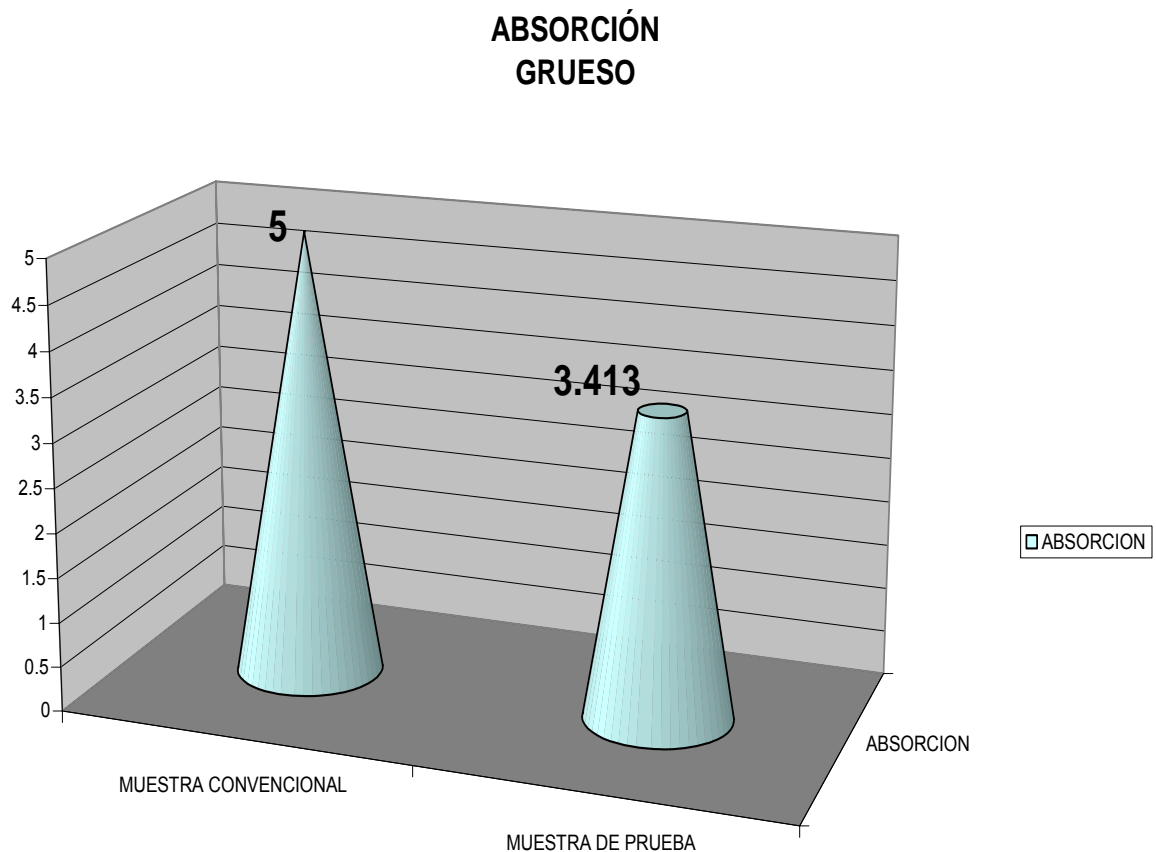
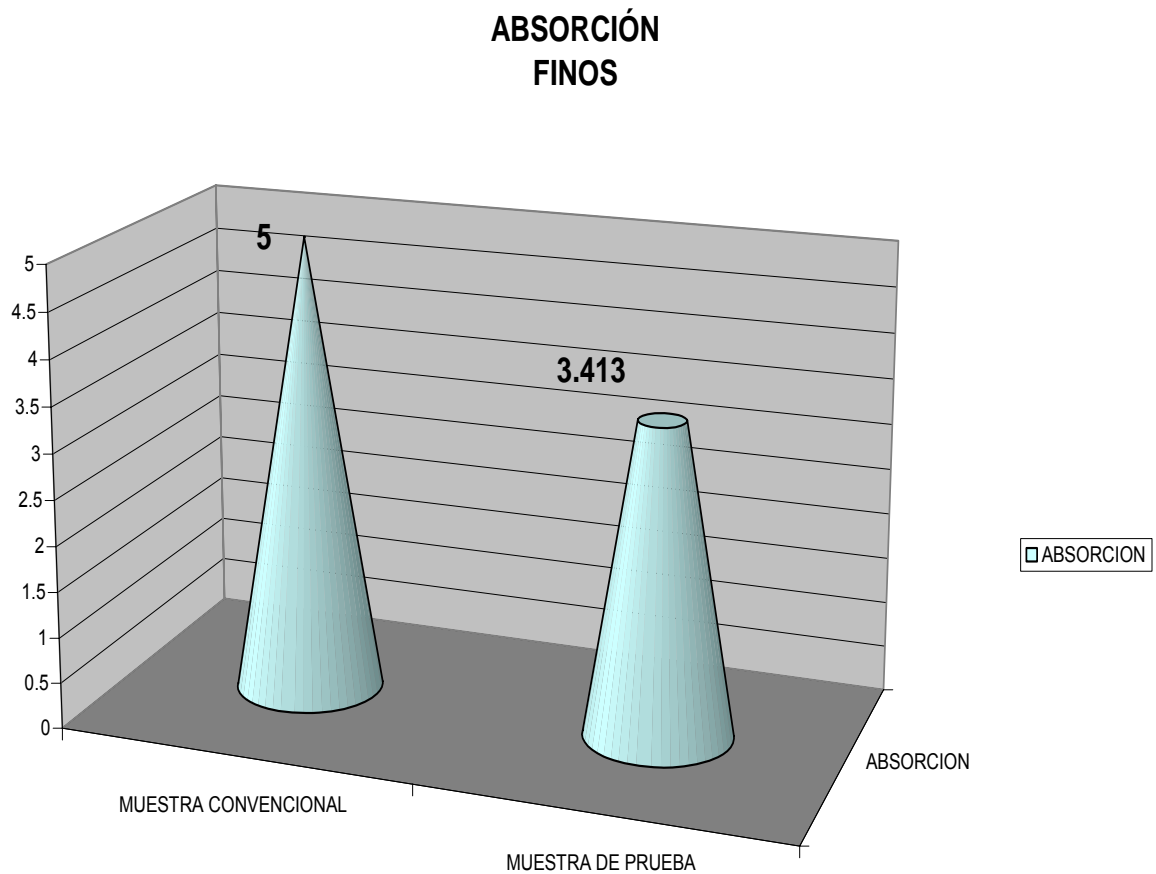
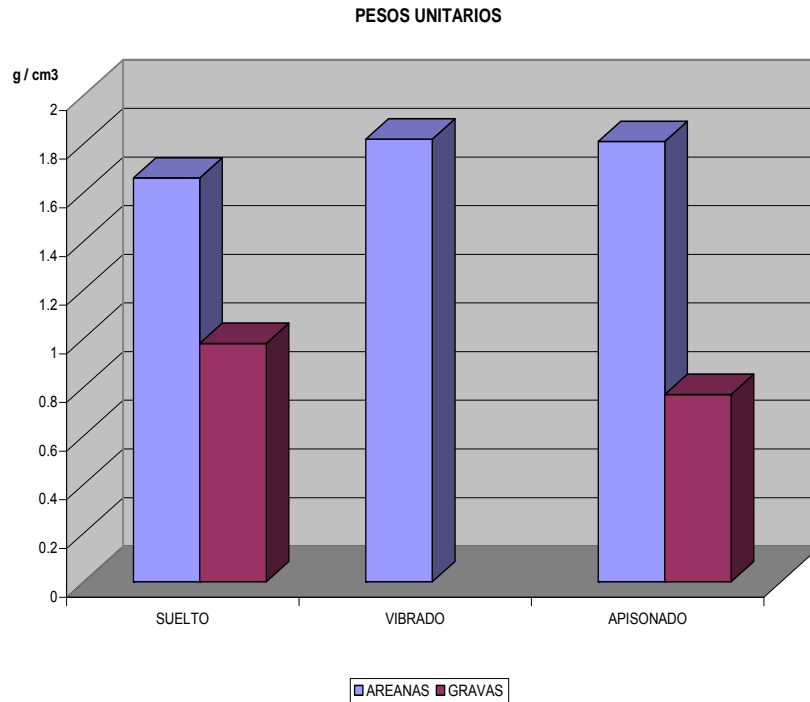


Grafico 9. Absorción del Agregado Fino



- El peso unitario del agregado nos indico la calidad del material; puesto que el peso unitario en nuestros materiales fue de 1.66 gr/cm^3 para arenas y 0.98 gr/cm^3 para gravas, esto nos indico que es un material de optima calidad ya que se encuentra en un rango admisible ($1.10 \text{ gr/cm}^3 - 1.60 \text{ gr/cm}^3$).

Grafico 10. Pesos Unitarios



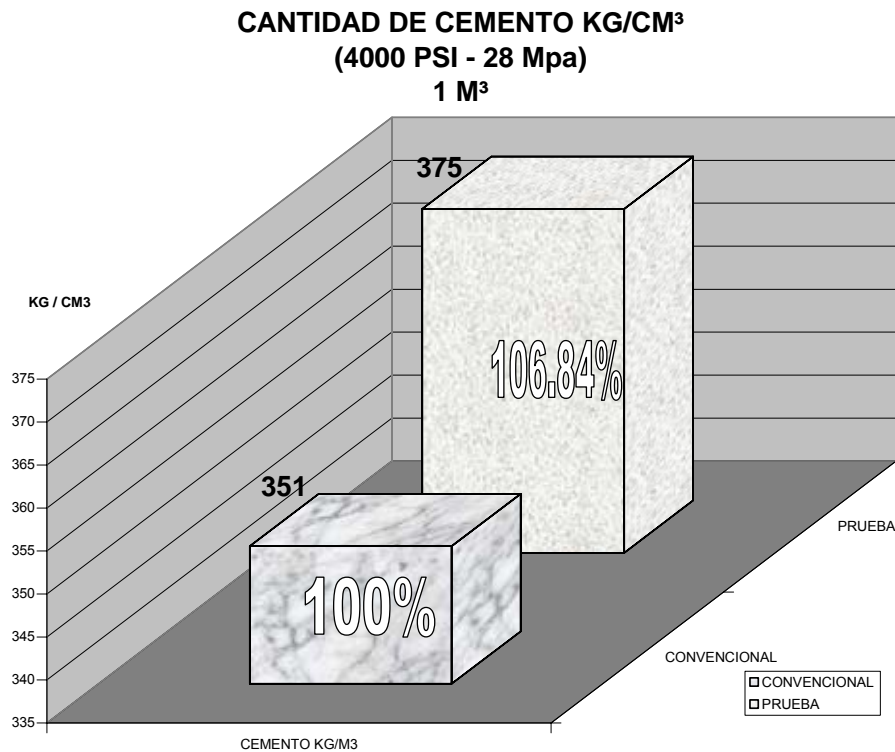
- La relación que se obtuvo para el mortero fue de 1:3, cuando esta relación se hace con arena de peña se dice que su uso es para pisos en nuestro caso se trabajó con arena de río la cual hace que obtengan grandes resistencias por lo que el mortero se hace duro e impermeable y resiste muy bien la acción del agua, en la actualidad este tipo de mortero son utilizados en muros de contención y cimientos.
- De los 3 diseños realizados para la compresión del hormigón; los diseños de 4000 y 5000 PSI obtuvieron las resistencias esperadas para los 28 días, en cuanto al diseño de 6000 PSI no cumplió con lo esperado.

Tabla 31. Resistencia de cilindros

RESISTENCIA DE CILINDROS (lb./pulg ²)			
DISEÑOS PSI	3 DÍAS	7 DÍAS	28 DÍAS
	RESISTENCIA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
4000	868.76	1459	4.474,81
5000	1.714,20	2.913,8	7.187,20
6000		1.297	4.145,68

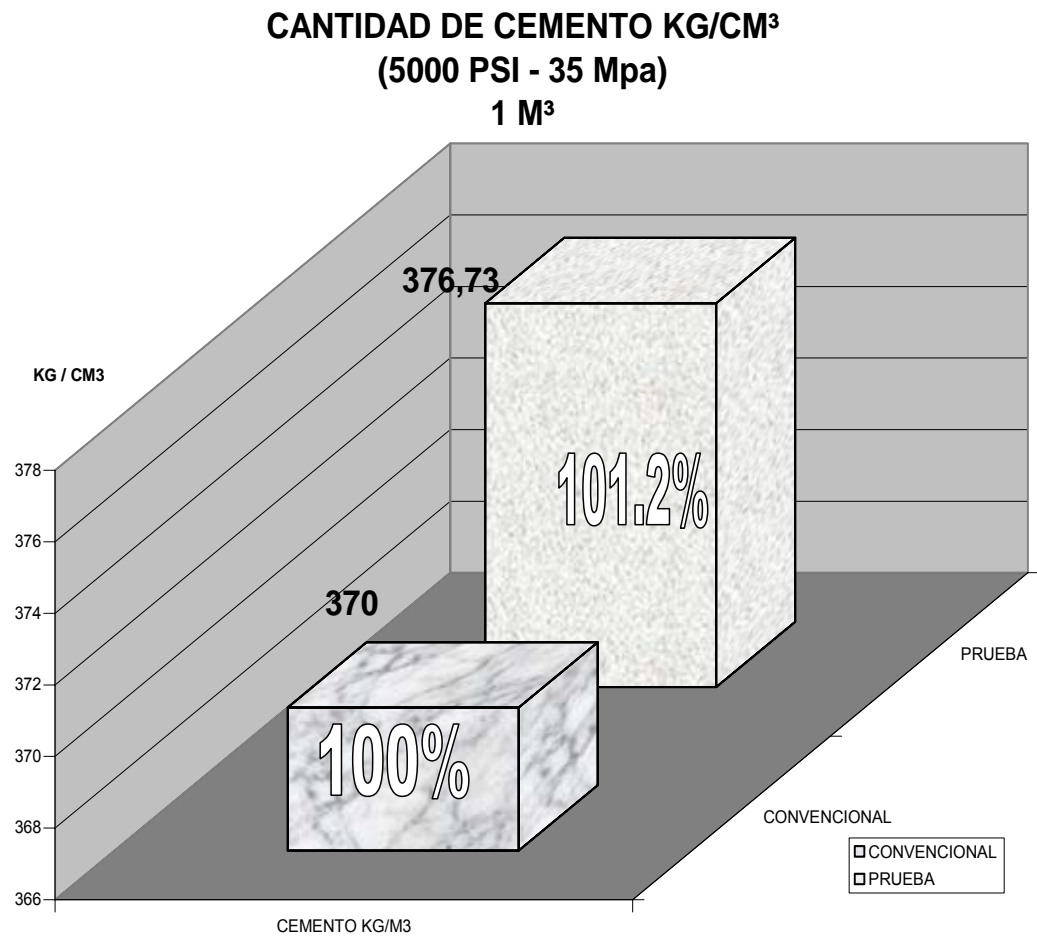
- Comparando el diseño de 4000 PSI, (28 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de cemento es un 7% mayor que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 11. Cantidad de cemento 4000 PSI, 28 Mpa.



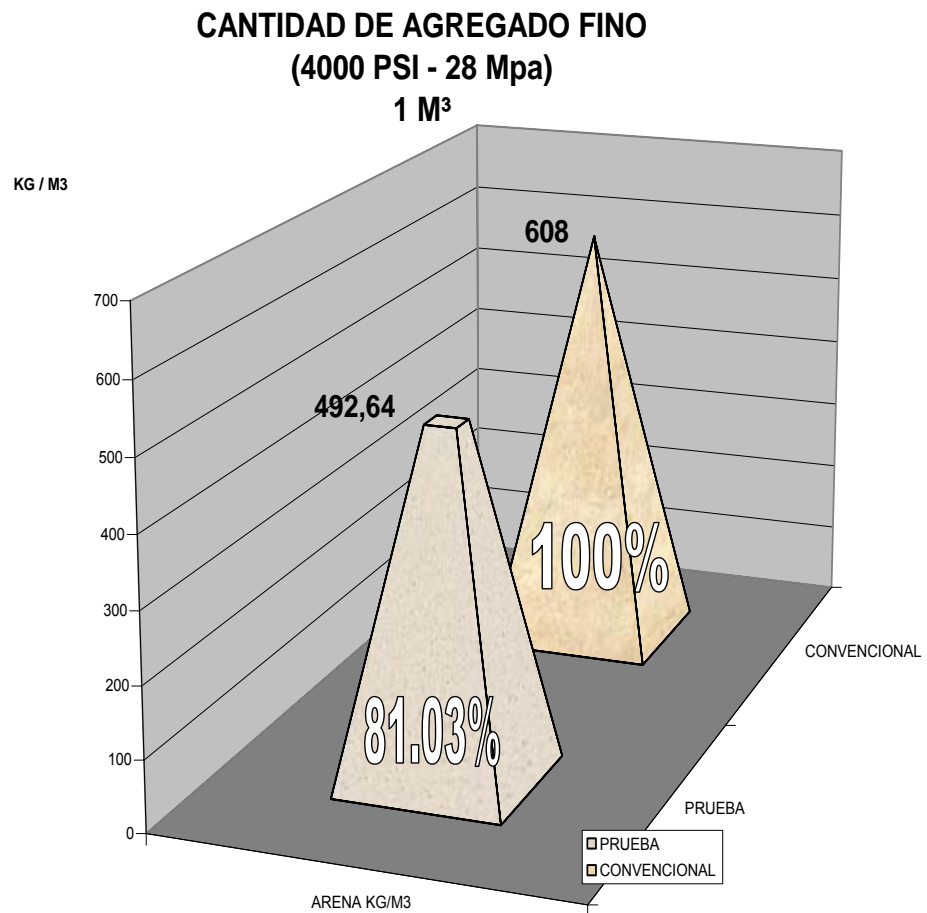
- Comparando el diseño de 5000 PSI, (35 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de cemento es un 2% mayor que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 12. Cantidad de cemento 5000 PSI, 35 Mpa



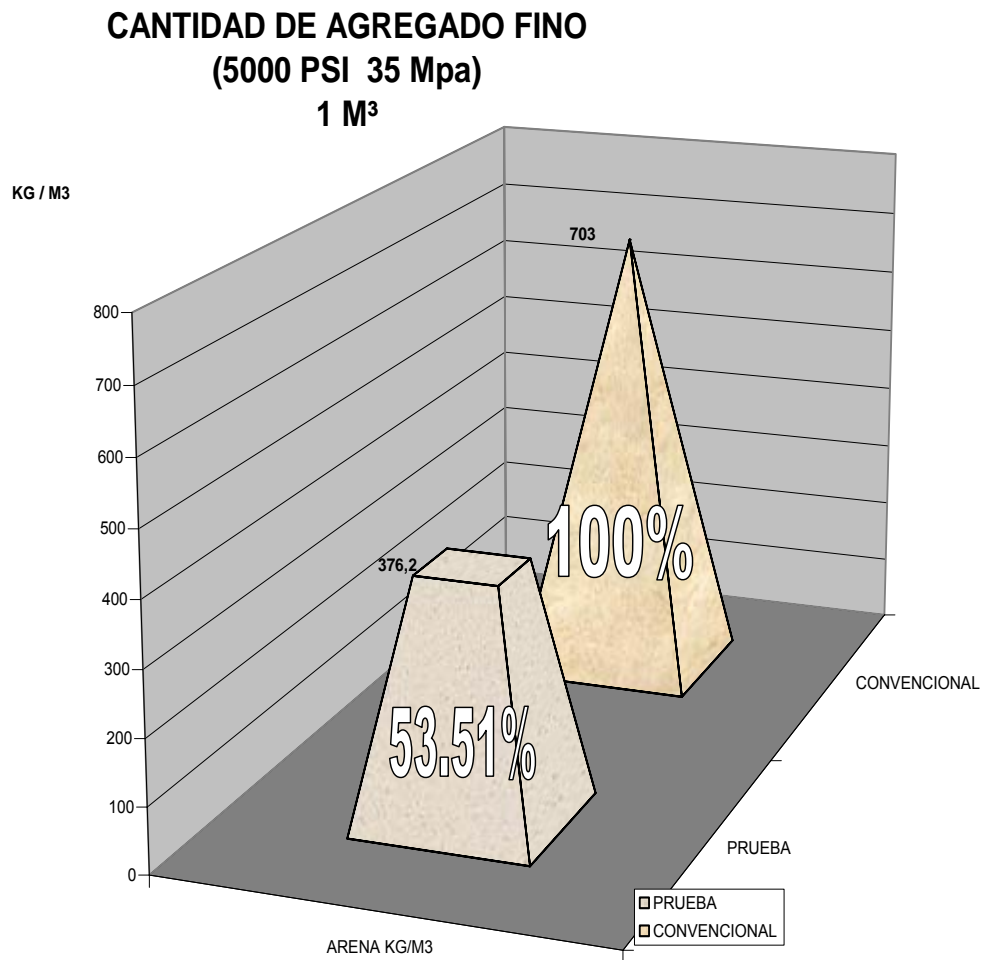
- Comparando el diseño de 4000 PSI, (28 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de arena es un 19% menos que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 13.Cantidad de arena 4000 PSI, (28Mpa)



- Comparando el diseño de 5000 PSI,(35 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de arena es un 46.5% menos que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 14 Cantidad de arena 5000 PSI, (35 Mpa)



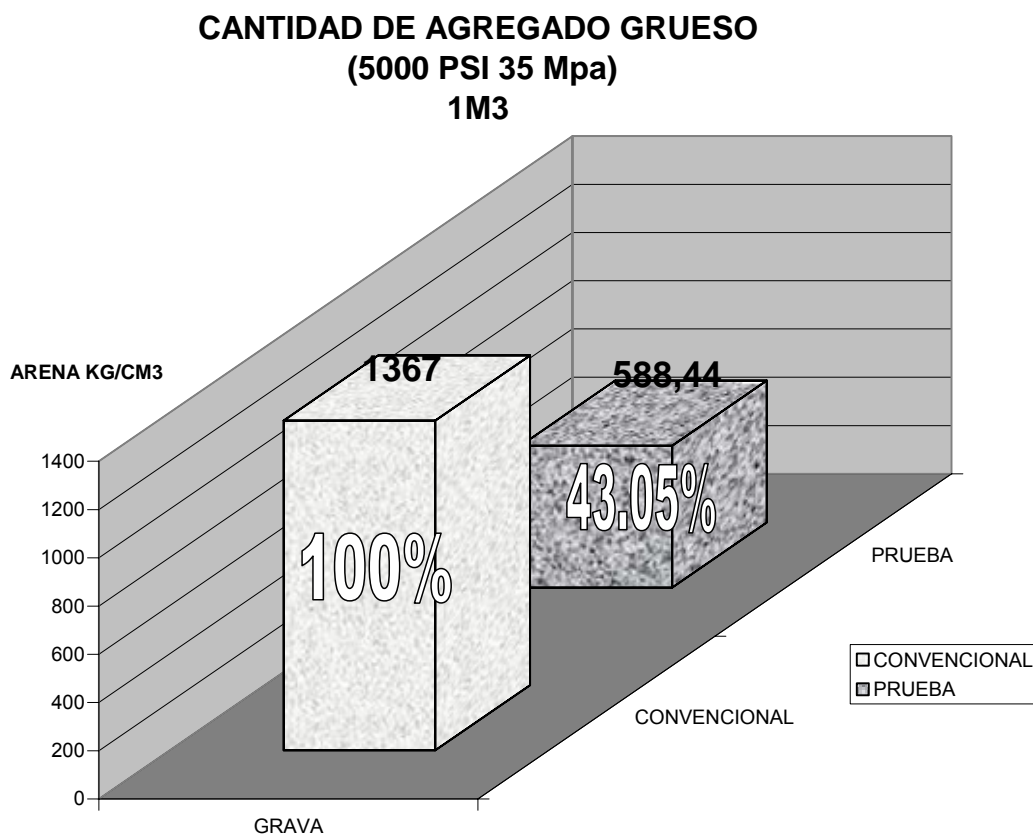
- Comparando el diseño de 5000 PSI,(35 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observo que la cantidad de grava es un 2.59% mas que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 15.Cantidad de Grava 4000 PSI, (35 Mpa)



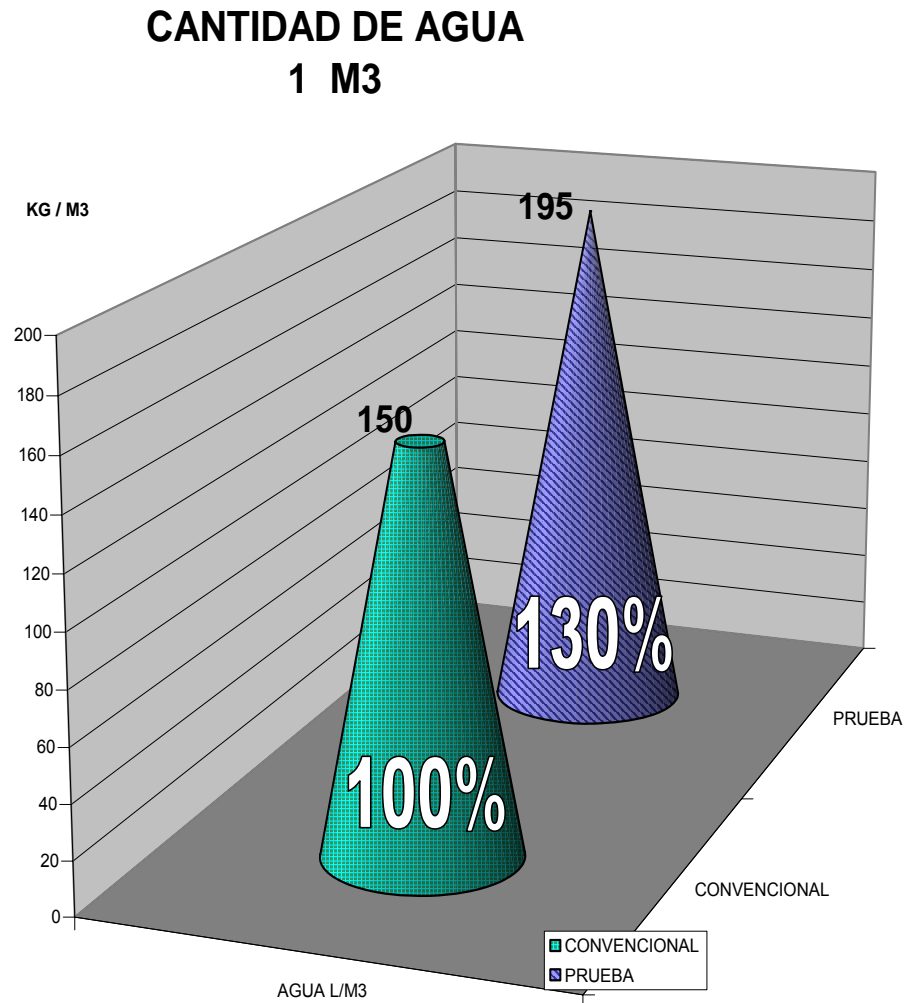
- Comparando el diseño de 4000 PSI, (28 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de grava es un 2.59% mas que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 16. Cantidad de Grava 5000 PSI, (35 Mpa)



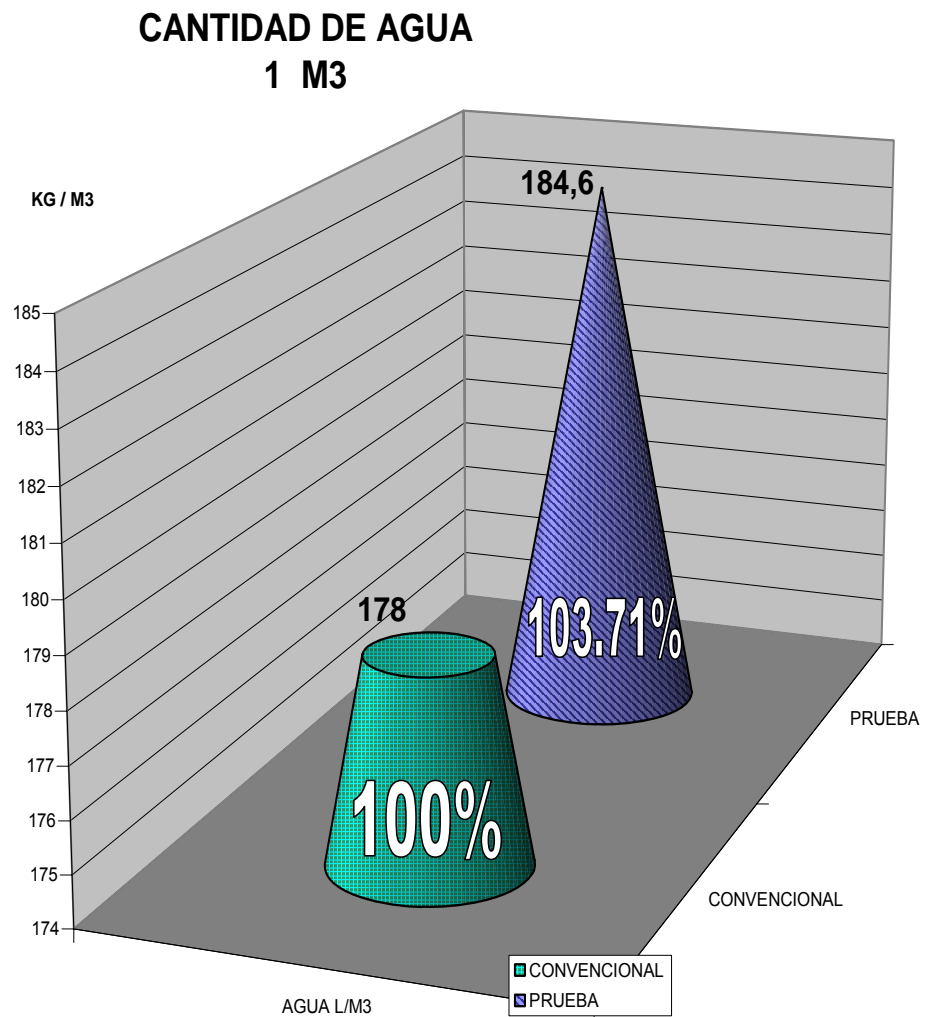
- Comparando el diseño de 4000 PSI, (28 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observo que la cantidad de agua es un 23.1% mas que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 17.Cantidad de agua 4000 PSI, (28 Mpa)



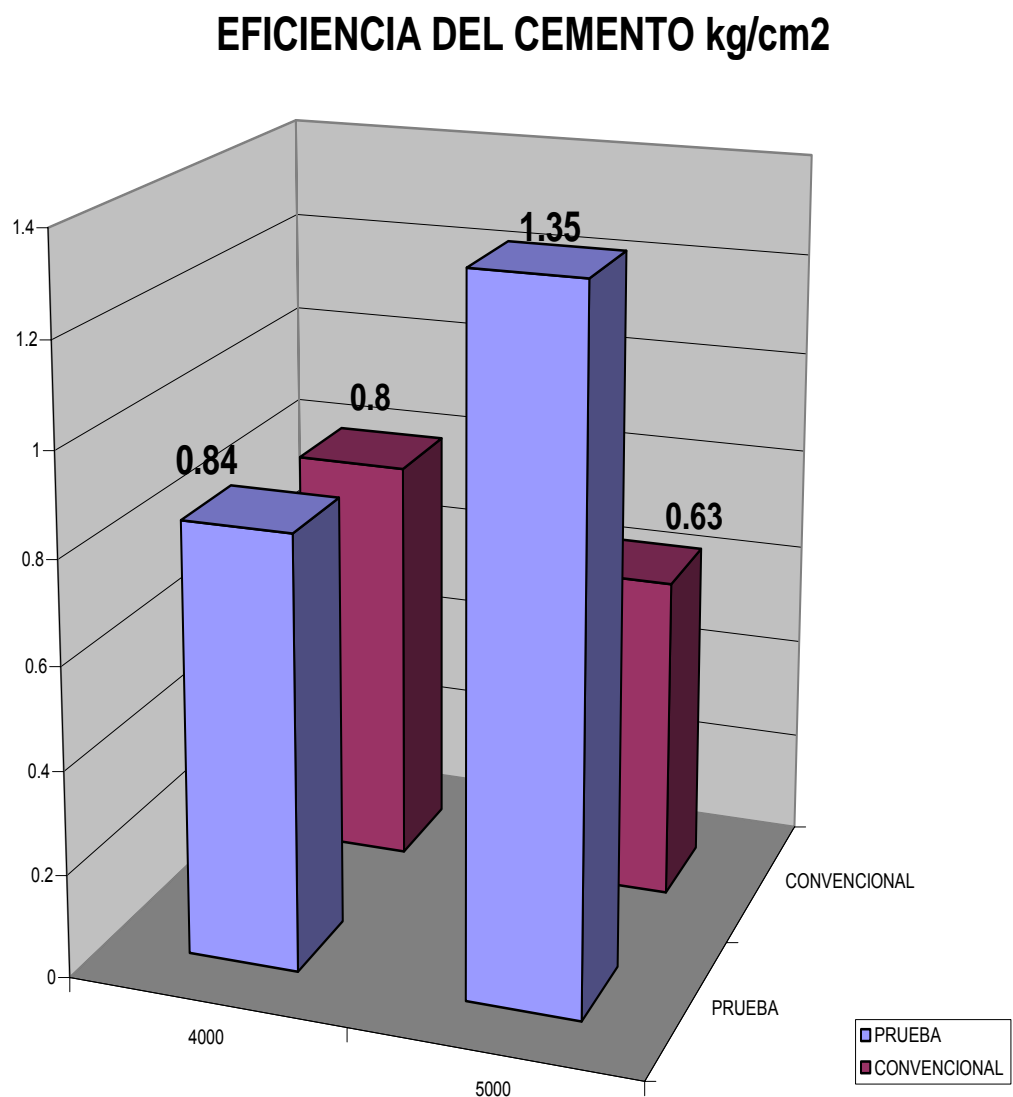
- Comparando el diseño de 5000 PSI, (35 Mpa) convencional con el diseño optimizado se observó que la cantidad de agua es un 3.6% mas que la cantidad que se utiliza habitualmente para un m³.

Grafico 18.Cantidad de agua 5000 PSI, (35 Mpa)



- Era de esperar que hubiera una mayor eficiencia ya que al aumentar la resistencia el tamaño máximo del agregado grueso es menor, por esta razón es necesario utilizar mayor cantidad de cemento para así lograr aumentar la eficiencia.

Grafico 19.Eficiencia del cemento



- Para los diseños que cumplieron con el objetivo de la investigación se ha demostrado que existe una excelente correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión como se muestra en las figuras; es decir que a medida que aumenta la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión aumenta pero en una menor proporción.

Grafico 20. Correlación de 4000 PSI, (28 Mpa)

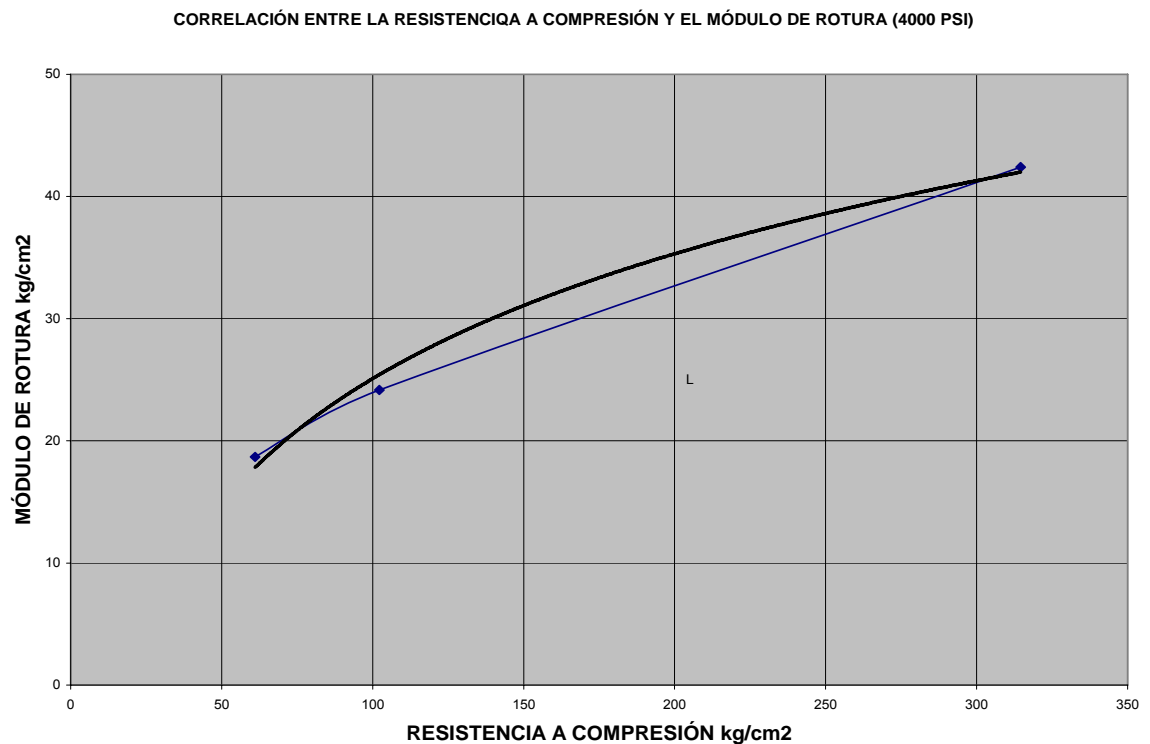
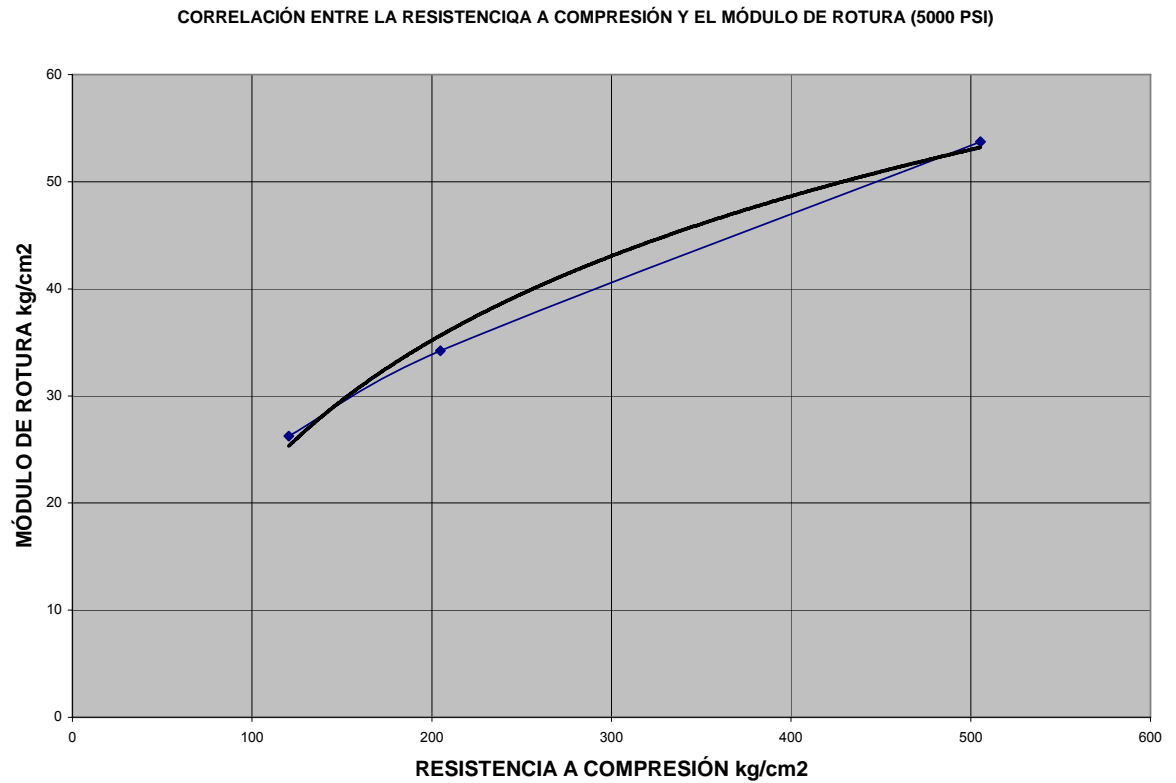


Grafico 21. Correlación de 5000 PSI, (35 Mpa)



- Según la investigación realizada se puede realizar un análisis comparativo en el cual queda demostrado que al realizar una buena optimización de los materiales se obtiene hormigones de alta resistencia a tempranas edades como se puede observar.

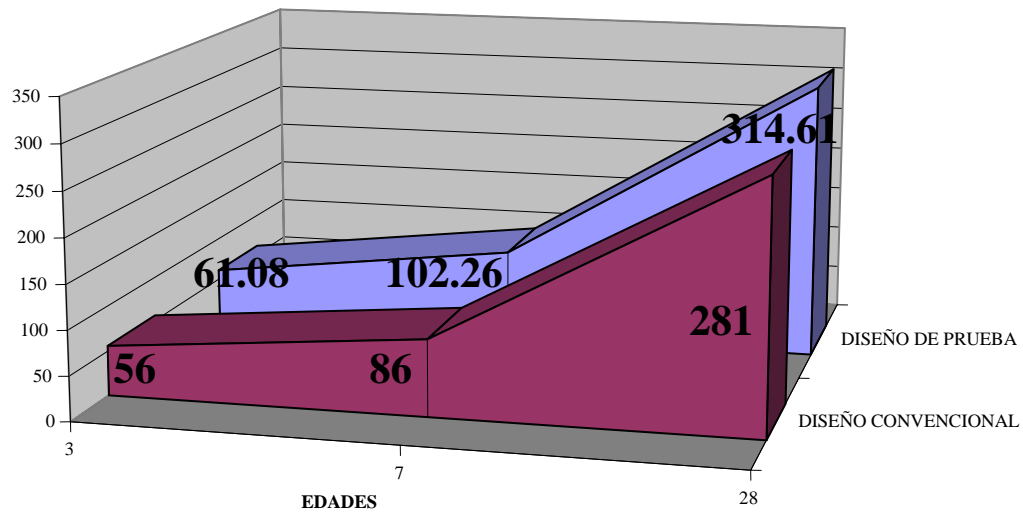
Tabla 32.Comparación de resistencias de 4000 PSI,(28 Mpa)

RESISTENCIA 4000 PSI			
	3 Kg/cm2	7 Kg/cm2	28 Kg/cm2
PRUEBA	63.67	105.34	320.874081
	57.78	99.48	308.933288
	61.78	101.97	314.028412
PROMEDIO	61.08	102.26	314.61
CONVENCIONAL	56	86	281

Grafico 22. Prueba de diseño de 4000 PSI

DISEÑO DE PRUEBA Vs DISEÑO CONVENCIONAL
(4000 PSI - 281.23 kg/cm²)

**RESISTENCIA A LA
COMPRESION EN kg/cm2**

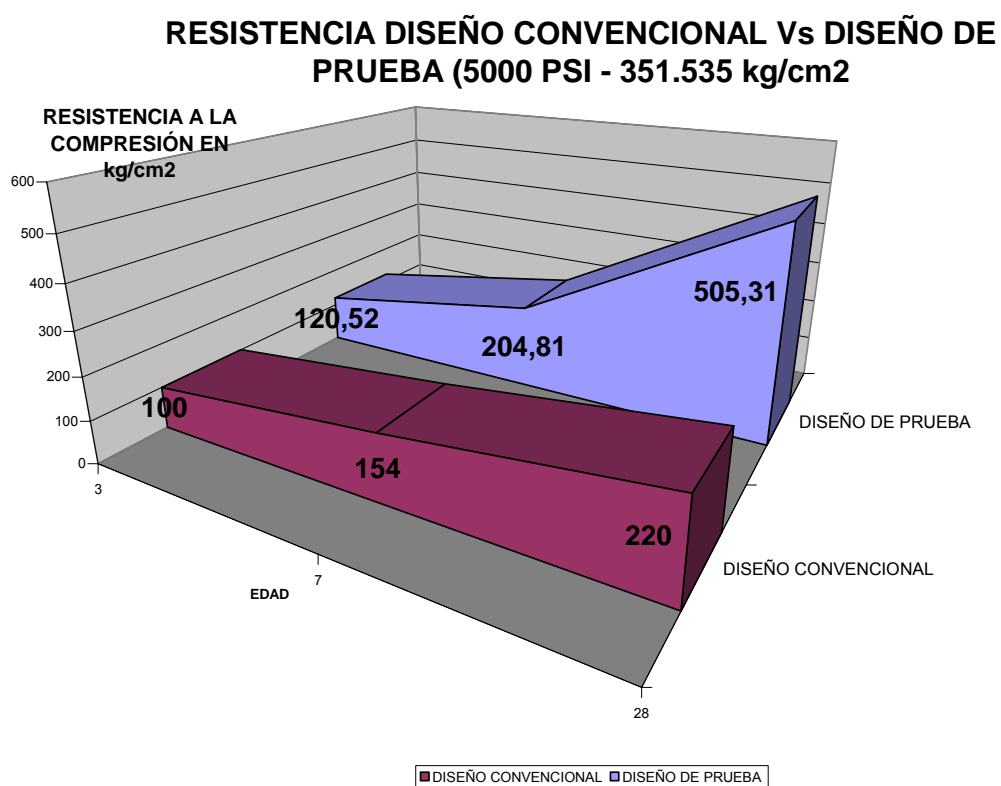


■ DISEÑO CONVENCIONAL ■ DISEÑO DE PRUEBA

Tabla 33.Comparación de resistencias de 5000 PSI

RESISTENCIA 5000 PSI			
	3 Kg/cm2	7 Kg/cm2	28 Kg/cm2
PRUEBA	134.297	206.351	508.014374
	102.23	196.3	490.524914
	125.023	211.78	517.385923
PROMEDIO	120.52	204.81	505.31
CONVENCIONAL	100	154	220

Grafico 23. Resistencia de diseño convencional de 5000 PSI



- Se pudo observar que para el diseño de 4000 PSI, (28 Mpa) que cumplió con la resistencia, su valor es relativamente menor en un 16.91% del valor convencional encontrado en el mercado y tiene una equivalencia de \$33.944.

Tabla 34. Comparación de costos para 4000 PSI

	CONVENCIONAL	PRUEBA
	4000 PSI	4000 PSI
CEMENTO	\$ 102.900,00	\$ 105.280,00
ARENA	\$ 44.103,00	\$ 46.995,00
GRAVA	\$ 51.152,00	\$ 14.456,00
AGUA	\$ 2.520,00	\$ 2.340,00
total	\$ 200.675,00	\$ 169.071,00

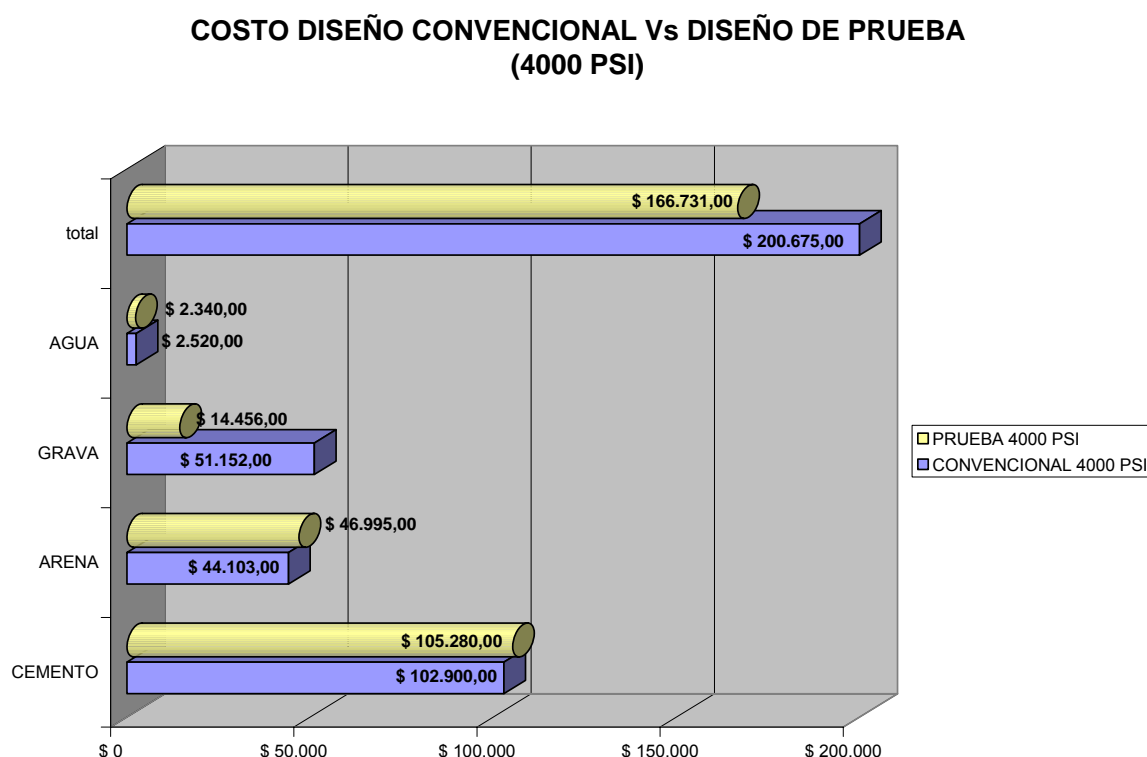
Tablas 35. Análisis unitario de costos para mezcla de 4000 PSI convencional

CONVENCIONAL 4000				
DESCRIPCION	UM	CANT.	PRECIO	TOTAL
CEMENTO	Kg.	367,5	\$ 280,00	\$ 102.900,00
ARENA	m³	0,61	\$ 72.300,00	\$ 44.103,00
GRAVA	m³	0,92	\$ 55.600,00	\$ 51.152,00
AGUA	lt	210	\$ 12,00	\$ 2.520,00
				\$ 200.675,00

Tablas 36. Análisis unitario de costos para mezcla de prueba para 4000 PSI

PRUEBA 4000				
DESCRIPCION	UM	CANT.	PRECIO	TOTAL
CEMENTO	Kg.	376	\$ 280,00	\$ 105.280,00
ARENA	m³	0,65	\$ 72.300,00	\$ 46.995,00
GRAVA	m³	0,26	\$ 55.600,00	\$ 14.456,00
AGUA	lt	195	\$ 12,00	\$ 2.340,00
				\$ 169.071,00

Grafico 24. Costo del diseño convencional de 4000 PSI



- Se pudo observar que para el diseño de 5000 PSI, (35 Mpa) que cumplió con la resistencia, su valor es relativamente menor en un 19.62% del valor convencional encontrado en el mercado y tiene una equivalencia de \$43.333.

Tabla 37. Comparación de costos para 5000 PSI

	CONVENCIONAL	PRUEBA
	5000 PSI	5000 PSI
CEMENTO	\$ 123.480,00	\$ 105.000,000
ARENA	\$ 53.502,00	\$ 39.765,000
GRAVA	\$ 41.144,00	\$ 30.580,000
AGUA	\$ 2.760,00	\$ 2.208,000
total	\$ 220.886,00	\$ 177.553,00

Tablas 38. Análisis unitario de costos para mezcla de 5000 PSI convencional

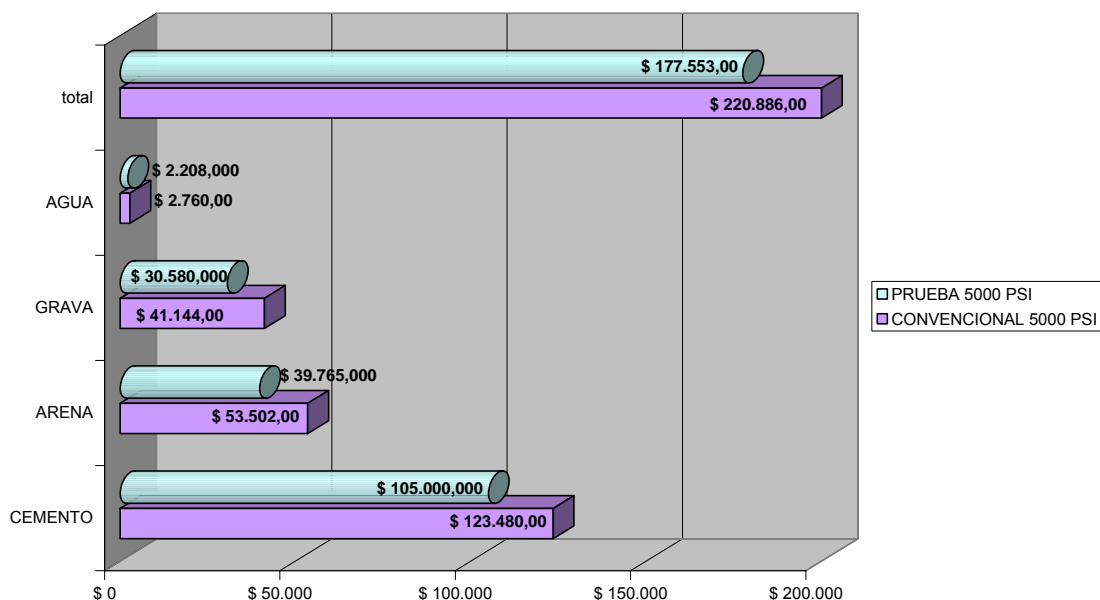
CONVENCIONAL 5000				
DESCRIPCION	UM	CANT.	PRECIO	TOTAL
CEMENTO	kg	441	\$ 280,00	\$ 123.480,00
ARENA	m³	0,74	\$ 72.300,00	\$ 53.502,00
GRAVA	m³	0,74	\$ 55.600,00	\$ 41.144,00
AGUA	lt	230	\$ 12,00	\$ 2.760,00
				\$ 220.886,00

Tablas 39. Análisis unitario de costos para mezcla de prueba para 5000 PSI

PRUEBA 5000				
DESCRIPCION	UM	CANT.	PRECIO	TOTAL
CEMENTO	kg	375	\$ 280,00	\$ 105.000,00
ARENA	m³	0,55	\$ 72.300,00	\$ 39.765,00
GRAVA	m³	0,55	\$ 55.600,00	\$ 30.580,00
AGUA	lt	184	\$ 12,00	\$ 2.208,00
				\$ 177.553,00

Grafico 25. Costo del diseño convencional de 5000 PSI

COSTO DISEÑO CONVENCIONAL Vs DISEÑO DE PRUEBA (5000 PSI)



5. COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 RECURSOS MATERIALES

Tabla 40. Recursos materiales

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO(\$)	VALOR TOTAL (\$)
Cemento	Bulto 50 kg	6	12500	75000
Grava 3/4	kg	300	300	90000
Arena	Kg	300	350	105000
Fotocopias	Un	100	100	10000
Impresiones	Un	450	300	13500
CD	Un	6	1000	6000
Tapabocas	Un	30	800	24000
Batas	Un	3	20000	60000
lonas	un	32	200	6400
TOTAL				511400

5.2 RECURSOS INSTITUCIONALES

Tabla 41. Recursos Institucionales

INSTITUCIÓN
Universidad de la salle
Laboratorios de concretos

5.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Tabla 42. Recursos tecnológicos

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (\$/UN)	VALOR TOTAL (\$)
Computador	Un	1	1600000	1600000
Memoria usb (1gb)	Un	1	75000	75000
Cámara digital	Un	1	450000	450000
Teléfono móvil	Un	4	45000	180000
TOTAL				2230000

5.4 RECURSOS HUMANOS

Tabla 43. Recursos Humanos

CARGO	No. DE HORAS SEMANA	No. SEMANAS	TOTAL HORAS	VALOR HORA	VALOR TOTAL
Director Temático ¹⁵	8	22	176		\$115.100
Asesora Metodológica ¹⁶	2	16	32	\$18000	\$576000
Asistente de Laboratorio ¹⁷	4	22	88	\$11000	\$968000
TOTAL					\$1659100

5.5 RECURSO DE TRANSPORTE

Tabla 44. Recurso transporte

TRAYECTO	CANTIDAD	VALOR PASAJE (\$)	VALOR TOTAL (\$)
U. Salle – la punta	3	4000	12000
U. salle – planta de Cemex (Av ameritas)	3	3000	6000
Transporte material La punta – U. salle	1	20000	20000
Transporte material Cemex – U. salle	2	15000	30000
TOTAL			68000

¹⁵ Valor asumido por la Universidad de la Salle según resolución rectorial No. 345 del 15 de noviembre del 2005

¹⁶ Valor asumido por la Universidad de la Salle facultad de Ingeniería Civil según contrato laboral.

¹⁷ Valor asumido por la Universidad de la Salle facultad de Ingeniería Civil según contrato laboral.

5.6 RECURSOS FINANCIEROS

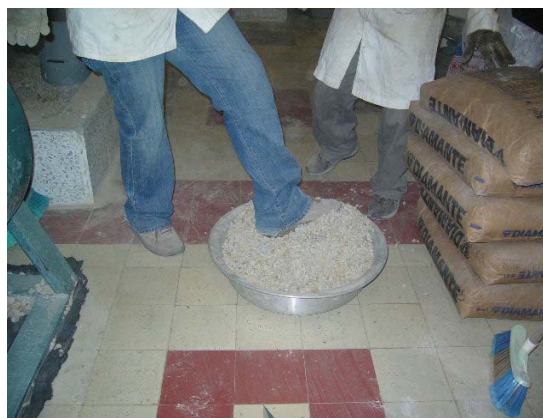
Tabla 45. Recursos financieros

RUBROS	FUENTES DE FINANCIACIÓN		
	APORTES		TOTAL
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD DE LA SALLE	EQUIPO INVESTIGADOR	
Recursos humanos	\$1659100		\$1659100
Recursos materiales		\$511400	\$511400
Recursos tecnológicos		\$2230000	\$2230000
Recursos institucionales			
Recursos de transporte		\$68000	\$68000
Subtotal	1659100	2809400	\$4468500
Imprevistos (5%)			\$223425
COSTO TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN			\$4691925

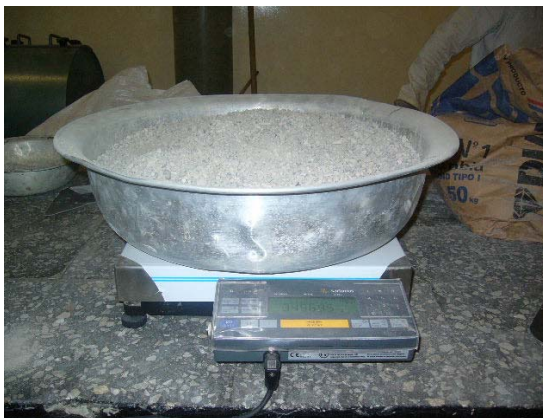
REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL DISEÑO DE MEZCLA



En esta imagen se observa el vaciado de cemento para el diseño de mezcla.



En esta imagen se observa el agregado grueso utilizado.



En esta imagen se observa peso seco de la muestra.



En esta imagen se observa la unión de los agregados y del cemento.



Este es el proceso de mezclado de los agregados y del cemento.



En esta imagen se observa la adición del agua a la mezcla de los agregados y del cemento.



En esta imagen ya el agua esta siendo absorbida por la mezcla.



En esta imagen vemos cuando se voltea la mezcla para distribuir el agua uniformemente.



En esta imagen se muestra el proceso de llenado de los cilindros.



En esta imagen se muestra como se apisona la mezcla según especificación de la norma.



En esta imagen se ve el cilindro terminado.



En esta imagen se muestra la falla de los cilindros a compresión

CONCLUSIONES

- La realización del presente trabajo investigativo permitió la complementación de los procesos teóricos adquiridos como estudiantes durante el proceso de formación en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, con el desarrollo práctico, y un enfoque investigativo.
- Por medio de los laboratorios pertinentes realizados a cada uno de los materiales que componen el hormigón como son el cemento, la arena y el agregado grueso se logró identificar las propiedades físicas que presentan cada uno de los componentes ya mencionados.
- Dentro de las características físicas más influyentes en la elaboración de un hormigón se logró identificar el peso específico de la arena, la densidad aparente de la grava, la absorción de los agregados, los pesos unitarios de los agregados, el porcentaje de humedad, la finura del cemento, cantidad de vacíos de los agregados, los tiempos de fraguado del cemento, y las características de la granulometría teniendo en cuenta estas propiedades se lograron obtener los resultados propuestos.

- Se concluye que optimizando los materiales, es posible obtener hormigones de alta resistencia a los 28 días, comprendidos entre los 4000 PSI – 5000 PSI, como se demostró con los cilindros de prueba.
- Confrontando la parte económica se observó que los valores pueden llegar a ser considerables a la hora de comparar precios con los concretos convencionales.
- La proporción óptima de los agregados y cemento para un hormigón deben cumplir con una relación 1: 1: 1, ya que esta relación hace que la pasta de cemento, logre una mejor adherencia entre los agregados, y los espacios vacíos disminuyan y por consiguiente la resistencia sea mayor, a diferencia con los resultados que se obtienen de otras relaciones.
- Para el diseño de mezcla se pudo afirmar que el método ACI 211.1, es un método que aplica para materiales bien gradados y controlados, salvo que los materiales colombianos no siempre cumplen con estas especificaciones a menos que se realicen los controles de calidad exigidos por las Normas Técnicas Colombianas, esto no quiere decir que el diseño no se pueda realizar, lo que sucede es que se requiere más pasta de cemento lo que hace que el diseño sea más susceptible de segregarse durante su manejo y que los costos aumenten.

- Los resultados que se obtuvieron se pueden llegar a mejorar notablemente si se pudiera contar con la tecnología de punta que existe pero académicamente estamos lejos de utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- GALLEGO ESTÉVEZ, José Manuel. Hormigón de Alta Resistencia estado actual de conocimientos 1992.
- GONZÁLEZ ISABEL, German. Hormigón de alta resistencia. Madrid, abril de 1993
- GRAFFE CANTILLO, Héctor Eduardo BK Estudios del comportamiento del concreto reforzado ante grandes corrientes eléctricas de impulso 2001 2.2 G736e 2001
- CALDERÓN CALDERÓN, Efraín BK Variación de resultados de resistencias a compresión en concretos por vaporación del laboratorio 2000 2.9 C146 v 2000.
- ALBA CAGUA, Rodrigo Alfonso BK Comparación de resistencias a compresión en cilindros de concreto empleando azufre 1999 2.1 A325c 1999

- CARVAJAL CELEITA, José Aníbal BK Investigación y diseño de concreto de ultra-alta resistencia, reforzado con fibras de acero 1998 2.1 C331in 1998
- GUZMÁN MEJÍA, Leonardo BK Aplicación del concreto de alta resistencia en edificios ---- 2.1 G993a 1994
- QUIMBAY HERRERA, Rodrigo Nel BK Investigación, diseño, obtención y ensayos de concretos de alta resistencia ---- 2.1 Q6i 1995.
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego, Tecnología del Concreto y del Mortero 2001.
- RUIZ SARAY, Rosa Amparo. Estructura para la presentación escrita del trabajo de grado En: Asesoría metodológica (1º: 2003: Bogotá D.C.) Proyecto Integrador. Bogotá D.C. U.S.B. 15P.
- Normas Técnicas Colombianas. Norma NTC 4630. 1999