



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

Estudio comparativo para determinar la reducción del esfuerzo a compresión simple de los núcleos de hormigón comparados con la resistencia de cilindros normalizados de hormigón.

**Autor: Juan Francisco Haro Lescano
Director: Msc. Ing. Byron Morales**

Quito, Julio 2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Msc. Ing. Byron Morales, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: "ESTUDIO COMPARATIVO PARA DETERMINAR LA REDUCCIÓN DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE DE LOS NÚCLEOS DE HORMIGÓN COMPARADOS CON LA RESISTENCIA DE CILINDROS NORMALIZADOS DE HORMIGÓN" del estudiante Juan Francisco Haro Lescano, alumno de Ingeniería Civil, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido; considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, 02 de Julio del 2014

EL TUTOR



Msc. Ing. Byron Morales
C.C. 1712565900

AUTORÍA

Yo, Juan Francisco Haro Lescano, declaro bajo juramento que el trabajo de investigación de nominado: Estudio comparativo para determinar la reducción del esfuerzo a compresión simple de los núcleos de hormigón comparados con la resistencia de cilindros normalizados de hormigón, es de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, 17 de Junio del 2014

EL AUTOR



Tigo. Juan Francisco Haro Lescano
CC. 1712385218

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mi Padre Francisco Javier (†) que desde el cielo guía mi camino y llena de luz mi vida.

A mi Madre Silda Clemencia que con su amor y ternura es el pilar fundamental de este logro que me acompaña a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar en todas las metas que me propongo .

A mis hermanos, cuñados, sobrinos los que me dan la fuerza y la inspiración para continuar adelante todos los días.

Juan Francisco Haro Lescano

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud primero a Dios por guiarme en el desarrollo de la tesis con su sabiduría y amor y permitir concluir mi carrera.

A mi director de tesis Msc. Ing. Byron Morales por su gran aporte, conocimiento y guía siempre orientándome con profesionalismo y ética en el desarrollo de la tesis

Ing. Hugo Bonifaz por las facilidades brindadas en el laboratorio y el apoyo incondicional a cada instante y darme palabras de aliento en todo momento.

A Luis Pazmiño por el gran apoyo en la realización de los ensayo y apoyarme cuando más lo necesitaba; a todas las personas que en su debido momento me brindaron una mano desinteresada para cumplir con este gran objetivo

Juan Francisco Haro Lescano

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPITULO II.....	5
2. MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1. Marco conceptual.....	5
2.1.1. Árido	5
2.1.2. Cemento Portland de escoria de altos hornos.....	5
2.1.3. Curado.....	5
2.1.5. Extracción de Núcleos	6
2.1.6. Fraguado	6
2.1.7. Grava.....	6
2.1.8. Hormigón.....	6
2.1.9. Núcleos de hormigón	7
2.1.10. Relación agua cemento	7
2.2. Concepto y fundamento teórico de la investigación	7
2.2.1. Generalidades.....	7
2.2.2. Hormigón Simple.....	7
2.2.3. Agregados.....	9
2.2.4. Cemento.....	10

2.2.5.	Agua de mezclado	11
2.2.5.1.	Agua del mar.....	13
2.2.5.2.	Reducción de tamaño de la muestra	14
2.2.6.	Dosificación de hormigón ACI 211.....	14
2.2.6.1.	Especificaciones	15
2.2.7.1.	Dosificación.....	16
2.2.8.	Curado de hormigones.....	25
2.2.8.1.	Humedad.....	29
2.2.8.2.	Temperatura.....	29
2.2.9.	Resistencia a la compresión	29
2.2.10.	Preparación y acondicionamiento de las muestras.	30
2.2.11.	Extracción de núcleos	33
CAPITULO III.....		38
3.	Experimentación	38
3.1.	Metodología	38
3.2.	Diseño de hormigones	39
3.3.	Fabricación de elementos para ensayo.....	46
3.4.	Elaboración de cilindros de hormigón, curado y ensayos de compresión simple	51
3.5.	Extracción de Núcleos, preparación de muestras y ensayo de compresión simple en núcleos.....	56
CAPITULO IV		61
4.	Procesamiento de datos	61
4.1.	Análisis de resultados	61
4.2.	Gráficos y tablas	65
Grafico 8 Análisis causa efecto de los valores obtenidos en la investigación		72
CAPITULO V		73
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1.	Conclusiones.....	73
5.2.	Recomendaciones	75
6.	BIBLIOGRAFÍA	76

Anexos 78

Dosificación de hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	79
Calibración de equipo.....	88
Fotografías	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de cementos	10
Tabla 2 Análisis típico del agua de abastecimiento de las ciudades y agua de mar, partes por millón	12
Tabla 3 Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C 94 o AASHTO M 157)	13
Tabla 4 Elección del revenimiento	16
Tabla 5 Elección del tamaño máximo de agregado	18
Tabla 6 Cantidad aproximada de aire esperado en hormigón sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños de agregado	19
Tabla 7 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en hormigón sin aire incluido.....	20
Tabla 8 Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar	21
Tabla 9 Relación agua – cemento en peso.....	22
Tabla 10 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.....	23
Tabla 11 Factores de corrección por esbeltez.....	30
Tabla 12 Tolerancia admisible para el ensayo de especímenes.....	31
Tabla 13 Factores de corrección de resistencia	37
Tabla 14 Contenido de humedad calculado en los agregados.....	40
Tabla 15 Determinación de gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino.....	40
Tabla 16 Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.....	41
Tabla 17 Granulometría de agregado grueso.....	42
Tabla 18 Granulometría de agregado fino	43
Tabla 19 Densidad volumétrica (peso unitario) y vacíos del agregado grueso.....	44
Tabla 20 Densidad volumetrica (peso unitario) y vacios del agregado fino	45
Tabla 21 Ensayo de compresión de cilindros fabricados - Columna.....	61

Tabla 22 Ensayo de compresión de cilindros fabricados- Viga	61
Tabla 23 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 9.5 cm - Columna	62
Tabla 24 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 7.0 cm - Columna	62
Tabla 25 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 5.1 cm - Columna	63
Tabla 26 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 9.5 cm - Viga	63
Tabla 27 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 7.0 cm -Viga.	64
Tabla 28 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 5.1 cm - Viga	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipo de reducción de muestras Tomada de la norma ASTM C 702	14
Figura 2 Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón (Gonnerman y Shuman 1928) Tomado del libro (Kosmatka, 2004) .	27
Figura 3 Relación resistencia temperatura en diferentes temperaturas de curado Tomado del libro (Kosmatka, 2004)	27
Figura 4 Efecto de la temperatura de curado sobre el desarrollo de la resistencia (superior) en relación a la resistencia a los 28 días y (inferior) relativa a la resistencia del hormigón a 23 °C (73°F)(Burg 1996) tomados del Libro (Kosmatka, 2004).	28
Figura 5 Diagrama de cilindros de hormigón tomado de (IMCYC, 2008).....	32
Figura 6 Esquema de los modelos típicos de fractura tomado de (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010)	33
Figura 7 Muestras de agregado para contenido de humedad.....	39
Figura 8 Agregado grueso saturado	41
Figura 9 Nivelación y apuntalamiento de encofrados	46
Figura 10 Encofrados listos para fundir	47
Figura 11 Concretera de un saco de capacidad	47
Figura 12 Cemento utilizado	48
Figura 13 Colocación de los agregados en la concretera.....	48
Figura 14 Colocación del hormigón	49
Figura 15 Vibrado del hormigón en la columna	49
Figura 16 Vibrado del hormigón en la viga	50
Figura 17 Vibrador para hormigón	50
Figura 18 Determinación del revenimiento de la mezcla.....	51
Figura 19 Varillado de en la fabricación de cilindros	52
Figura 20 Enrasado de cilindros	52
Figura 21 Cilindro terminado.....	53
Figura 22 Máquina de compresión simple 2000 kN.....	54
Figura 23 Ensayo de compresión de cilindros de hormigón.....	55
Figura 24 Brocas utilizadas.....	56

Figura 25 Esquema de extracción de núcleos en viga	57
Figura 26 Extracción de núcleos en viga	57
Figura 27 Esquema de extracción de núcleos en columna	58
Figura 28 Extracción de núcleos en columna	59
Figura 29 Compresión de núcleos de hormigón	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Ensayo a compresión simple de cilindros de hormigón	65
Gráfico 2 Ensayo a compresión simple de cilindros de hormigón	66
Gráfico 3 Ensayo a compresión simple de núcleos de extracción - columna.....	67
Gráfico 4 Ensayo a compresión simple de núcleos de columna	68
Gráfico 5 Ensayo a compresión simple de núcleos por la dirección de extracción	69
Gráfico 6 Ensayo a compresión simple de cilindros y núcleos	70
Gráfico 7 Ensayo a compresión simple de cilindros y núcleos	71
Grafico 8 Análisis causa efecto de los valores obtenidos en la investigación	72

RESUMEN

La presente investigación se realiza con el fin de comprobar la resistencia real del hormigón que forma parte de las estructuras, mediante el método destructivo de extracción de núcleos, en diferentes elementos.

La investigación se centra en la elaboración de dos elementos una columna y una viga de hormigón simple, a la vez se elaboraron cilindros de hormigón los mismos que fueron curados a la intemperie y otros curados bajo la norma ASTM C 31 para luego de 28 días de elaborados extraer los núcleos de la columna y la viga, los materiales utilizados son provenientes de las canteras del sector de Pintag, cribado el mismo que es el más usado en la construcción de las diferentes estructuras, vías puentes, vivienda etc.

Se pudo determinar la reducción de la resistencia de los cilindros curados a la intemperie, la disminución de la resistencia de los núcleos extraídos en comparación con los cilindros curados bajo la norma ASTM C 31, el aumento de la resistencia a medida que el diámetro de los núcleos extraídos disminuye y la influencia de la dirección de extracción la cual indica que la extracción en sentido vertical afecta en menor porcentaje que la extracción en sentido horizontal.

Palabras claves: Hormigón, Núcleo, Resistencia a la compresión, viga, columna

CAPITULO I

1.1. JUSTIFICACIÓN

Toda estructura independientemente del material que está construido debe ser concebido de tal manera que dé seguridad al usuario y durabilidad frente a los agentes ambientales y eventos sísmicos, de tal forma que se cubra las necesidades de vivienda, lugares de trabajo, traslado de personas por vías seguras, etc.

El material que más se usa es el hormigón, el cual sirve como materia prima en la construcción de vivienda, edificios de oficina, edificios de parqueaderos, puentes, carreteras, presas, canales de riego, tanques de almacenamiento, etc.; este material debe ser preparado bajo normas estándar de construcción para que la calidad y duración del mismo sea la mejor dando seguridad y comodidad a las persona que lo utilicen.

En la construcción de las estructuras de hormigón el control está basado en la elaboración de muestras cilíndricas o cúbicas (en el caso del continente europeo) las cuales son ensayadas a compresión simple a una edad de 28 días cuando alcanza su resistencia máxima la misma que debe ser igual o mayor a la resistencia de diseño.

Para tener un control de calidad adecuado las probetas de hormigón serán elaboradas de acuerdo a las normas ASTM o NTE INEN y el personal responsable de la toma de muestras debe ser calificado y con experiencia en el tema, ya que la resistencia del hormigón depende mucho de la calidad de la toma de las muestras y su manipulación hasta el momento de la rotura.

A pesar de los cuidados y controles que se dé a las muestras, la resistencia de los cilindros de hormigón no cumplan con la requerida se procede a realizar ensayos no destructivos en el hormigón colocado en obra, estos ensayos pueden ser Esclerómetro, Velocidad ultrasónica, los cuales son métodos

indirectos para la determinación de la resistencia, tienen una dispersión considerable y no son muy confiables, el reporte de los mismos se debe dar en términos de rangos de resistencia característica.

Un método más exacto y confiable es la extracción de núcleos de hormigón luego de los 28 días con el fin de evaluar la calidad del material con respecto a la resistencia a compresión, es una práctica común para verificar la calidad del hormigón; la incógnita a resolver es, ¿si a través de los procesos y prácticas de extracción de los núcleos estos disminuyen en su resistencia y en qué porcentaje dependiendo del tamaño de la muestra y las condiciones de humedad según la norma ASTM C42/C42M-13?

Para resolver esta inquietud se elabora hormigón simple con el cual se fabrica elementos estructurales tales como vigas y columnas de los cuales se extraen núcleos y son ensayados a compresión simple. Esto permitirá comparar los resultados con los ensayos realizados a los cilindros normalizados y poder determinar la reducción de la resistencia de los núcleos al momento de evaluar las estructuras de hormigón.

La investigación se centrará en la necesidad de evaluar las estructuras de hormigón de tal forma que la resistencia de los núcleos extraídos sea la real, determinando los cambios que sufren las muestras por el proceso de extracción y el tamaño de la probeta.

Este estudio pretende beneficiar a las empresas constructoras, debido a que se asegura que los trabajos realizados están correctamente ejecutados y de manera especial a la comunidad porque la duración de las obras será mayor, así como la sensación de seguridad del usuario.

1.2. PROBLEMA

El hormigón en las estructuras ocupa uno de los rubros más influyentes dentro del costo de la obra por lo que su control es un pilar fundamental en la optimización de los recursos, con un buen control de calidad se garantiza la durabilidad del hormigón y su correcto funcionamiento dentro de la estructura.

Los diferentes factores que pueden afectar a la calidad del hormigón tanto en la fabricación, y puesta en obra es la variación en la dosificación, la falta de elementos de control, tales como juntas de dilatación, elementos de transmisión de esfuerzos etc., los cuales afectan en la durabilidad y el deterioro prematuro de las estructuras siendo la reducción de la resistencia a la compresión simple uno de los factores primordiales para este fenómeno.

Con el fin de controlar la calidad del hormigón en la construcción de las infraestructuras de hormigón según American Society for Testing and Materials (ASTM) es necesario determinar el esfuerzo a compresión simple del hormigón de acuerdo a la norma ASTM C 1231 y ASTM C 39 para tal efecto se considera el muestreo de cilindros al momento de la fundición de los diferentes elementos que componen una estructura según la norma ASTM C 31.

Cuando los resultados del esfuerzo a compresión simple de los cilindros normalizados de hormigón no son confiables o están por debajo de la resistencia de diseño y se necesita determinar el esfuerzo a la compresión simple del hormigón en la estructura, uno de los procedimientos para ello es la extracción de núcleos de los elementos de la estructura según la norma ASTM C 42 y la determinación de la resistencia a compresión simple de dichos núcleos.

La problemática es si la resistencia a compresión simple de los núcleos representa la verdadera resistencia que posee la estructura.

Por lo que se plantea determinar si hay una reducción de la resistencia al esfuerzo a compresión de los núcleos de hormigón en comparación con los cilindros de hormigón normalizados.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Determinar el comportamiento de la resistencia de los núcleos de hormigón y compararlos con la resistencia de cilindros normalizados y su variación con diferentes métodos de curado

Objetivos Específicos

- Analizar la afectación de la resistencia de los núcleos de hormigón por el proceso de extracción.
- Comparar la variación de resistencia de los cilindros de hormigón normalizados curados de maneras diferentes.
- Determinar la variación de resistencia de los núcleos de hormigón con respecto a su diámetro y dirección de extracción.

CAPITULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Árido

Material Granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010)

2.1.2. Cemento Portland de escoria de altos hornos

Cemento hidráulico, consistente de una mezcla íntimamente molida de clinker de cemento portland y escoria de altos hornos granulada o una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y escoria de altos hornos granulada fina, en la cual la cantidad del componente escoria, está dentro de límites especificados (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 151, 2010).

2.1.3. Curado

La acción adoptada para, mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementante recién colocada, permitiendo la hidratación del cemento hidráulico y las reacciones puzolánicas (si es aplicable) que se produzcan de manera que puedan desarrollarse las propiedades potenciales de la mezcla. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010).

2.1.5.Extracción de Núcleos

Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de hormigón tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie. (Instituto Nacional de Vías Colombia INV E – 41-07).

2.1.6.Fraguado

Proceso, debido a reacciones químicas, que se producen luego de la adición del agua de mezcla, que resulta en un desarrollo gradual de la rigidez de una mezcla cementante (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010).

2.1.7.Grava

Árido grueso resultante de la desintegración natural o abrasión de la roca o procesamiento de un conglomerado debidamente ligado. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010).

2.1.8.Hormigón

Material compuesto que consiste de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010).

2.1.9. Núcleos de hormigón

Es una muestra representativa extraída de una estructura de hormigón, de acuerdo a un procedimiento establecido. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1762, 1990).

2.1.10. Relación agua cemento

Relación de la masa de agua, excluyendo únicamente aquella que es absorbida por los áridos, a la masa del cemento portland en el hormigón, mortero o grout, expresada en forma decimal (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2010).

2.2. Concepto y fundamento teórico de la investigación

2.2.1.Generalidades

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción, por esta razón se debe tener especial cuidado en el control de calidad tanto en la elección de los agregados, cemento, dosificación, como en la elaboración, colocación en obra y su mantenimiento.

2.2.2.Hormigón Simple

Según (ROMO, 2006) “El hormigón es una roca artificial formada al mezclar apropiadamente cuatro componentes básicos: cemento, arena, grava y agua. Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y

proporciones de los componentes en la mezcla, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de

Los componentes en la mezcla son los agregados que se dividen en dos grupos finos y gruesos, los agregados finos pueden ser arenas con tamaño nominal de 9.5 mm (3/8"), los agregados gruesos puede ser material triturado, cribado, o de río, el cual tiene un tamaño que va desde los 1.18 mm (tamiz No. 16) hasta los 150 mm (6 ") (Kosmatka, 2004)

La buena elección de los agregados tanto finos como gruesos garantizan una buena calidad del hormigón, los que deben satisfacer las exigencias de las entidades de control basados en las normas ASTM y NTE INEN principalmente, las mismas que garantizan que las propiedades de los agregados sean las necesarias para cada tipo de estructura que se vaya a construir.

De acuerdo con la revista (Staff Hormigonar, 2003) el hormigón fresco debe ser adecuado a las características particulares de cada obra, su trabajabilidad debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados, compactarlo y terminarlo correctamente con los medios disponibles sin segregación de los materiales componentes. De ese modo el hormigón elaborado llenará totalmente los encofrados, sin dejar oquedades o nidos de abeja y recubrirá totalmente las armaduras de refuerzo, tanto en pro de la resistencia estructural como para la pasivación del hierro lograda con la lechada de cemento, y que dará con la terminación prevista para la obra.

“El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase

de colocación en obra y de uso.” (Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica, 2007)

2.2.3. Agregados

Según (Moreira de Souza Vicente Custódio, abril/2009) “Los agregados utilizados en el hormigón, ya sea desde la perspectiva del punto de vista económico o técnico, tienen una influencia en algunas características importantes, como la reducción de la contracción, el aumento de la resistencia a los esfuerzos mecánicos y otros. En general, los agregados se consideran ser inerte, pero sin embargo poseen características químicas y físicas que interviene en el comportamiento del hormigón. Como resultado de esto, se debe utilizar sólo cuando está libre de sustancias nocivas (trozos de arcilla, materiales carbonosos, material pulverulento orgánico e impurezas) y grano resistente y preferiblemente no redondeado, debido a que la forma del grano facilita la consolidación del hormigón”.

La importancia del uso, tipo y de la calidad correctos del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60 % al 75 % del volumen del hormigón (70 % a 85 % de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del hormigón. (Carrasco I. M., 2009)

Los áridos naturales se clasifican en finos y gruesos. Los áridos finos o arenas pasan por el tamiz número 4. Los áridos gruesos no atraviesan el tamiz número 4 y se conocen como gravas (ripió en nuestro medio). Los agregados gruesos presentan mejores propiedades de adherencias con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los áridos con superficie redondeada tienen menor adherencia) (ROMO, 2006)

2.2.4.Cemento

El cemento Portland es un producto que se obtiene por pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de sulfatos de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. (Rivera, 2009)

El material cementante o aglomerantes el más utilizado es el cemento portland el cual dependiendo del uso que se le va a dar se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla (ROMO, 2006)

Tabla 1 Tipos de cementos

Cemento Portland		
Tipo I	Cemento portland ordinario	Se lo utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente
Tipo II	Cementos antibacteriales	Pueden usarse en piscinas
	Cementos hidrófobos	Se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas liquidas
	Cementos de albañilería	Se los emplea en la colocación de mampostería
	Cementos impermeabilizantes	Se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.
Tipo III	Cementos de fraguado rápido	Se los utiliza en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción

Tipo IV	Cementos de fraguado lento	Producen poco calor de hidratación y se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como presas permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado
Tipo V	Cementos resistentes a los sulfatos	La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto

Elaborado por el autor a partir de (ROMO, 2006) Fundamentos de hormigón

2.2.5. Agua de mezclado

“El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un hormigón, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón. La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el hormigón queden trabajables”. (Rivera, 2009)

Las condiciones físico químicas del agua de mezclado se lo puede definir según la siguiente tabla

Tabla 2 Análisis típico del agua de abastecimiento de las ciudades y agua de mar, partes por millón

Sustancia química	Análisis No.						
	1	2	3	4	5	6	Agua de mar
Silice (SiO ₂)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	-----
Hierro (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	-----
Calcio (Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50 a 480
Magnesio (Mg)	1.41.7	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260 a 1410
Sodio (Na)	0..7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4	2190 a 12200
Potasio (K)	14.0	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70 a 550
Bicarbonato (HCO ₃)	9.7	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1	-----
Sulfato (SO ₄)	2.2	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6	580 a 2810
Cloruro (Cl)	0.5	3.0	1.4	280.0	22.0	1.0	2960 a 20000
Nitrato (NO ₃)	31.0	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	-----
Total de solidos disueltos		250.0	125.0	983.0	564.0	19.0	35000

Tabla tomada del Libro (Kosmatka, 2004) página 95

Una fuente de agua con análisis equivalente a cualquiera de las aguas en la tabla es probablemente satisfactoria para el uso en hormigón. Se puede emplear el agua dudosa en hormigón, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109 o AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los

7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Las normas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el hormigón (Kosmatka, 2004).

Tabla 3 Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C 94 o AASHTO M 157)

	Límites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, porcentaje mínima en relación al control, a los siete días	90	C 109* o T 106
Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191* o T 131

* La comparación debe estar basada en proporciones fijas, así como en el mismo volumen de agua de ensayo comparado con una mezcla de control preparada con agua de la ciudad o agua destilada. (Kosmatka, 2004)

2.2.5.1. Agua del mar

El agua del mar, con una concentración de sales disueltas de hasta 35,000 ppm, normalmente es adecuada para el uso como agua de mezclado del hormigón que no contenga armaduras de acero. Aproximadamente 78% de la sal es cloruro de sodio y 15 % es cloruro y sulfato de magnesio. Aunque la resistencia temprana del hormigón preparado con agua de mar pueda ser más elevada que la resistencia del hormigón normal, la resistencia a edades mayores (después de 28 días) puede resultar menor. Esta reducción de la resistencia se puede compensar con la reducción de la relación agua/cemento. El agua de mar no es apropiada para la preparación de hormigón reforzado con acero y no se debe usar en hormigón pretensado, debido al riesgo de corrosión de la armadura, principalmente en ambientes cálidos y húmedos. (Carrasco I. M., 2009)

2.2.5.2. Reducción de tamaño de la muestra

Es la práctica en la cual se obtiene una muestra más pequeña de la original las mismas proporciones de las partes constituyentes de la muestra original
ASTM C 702

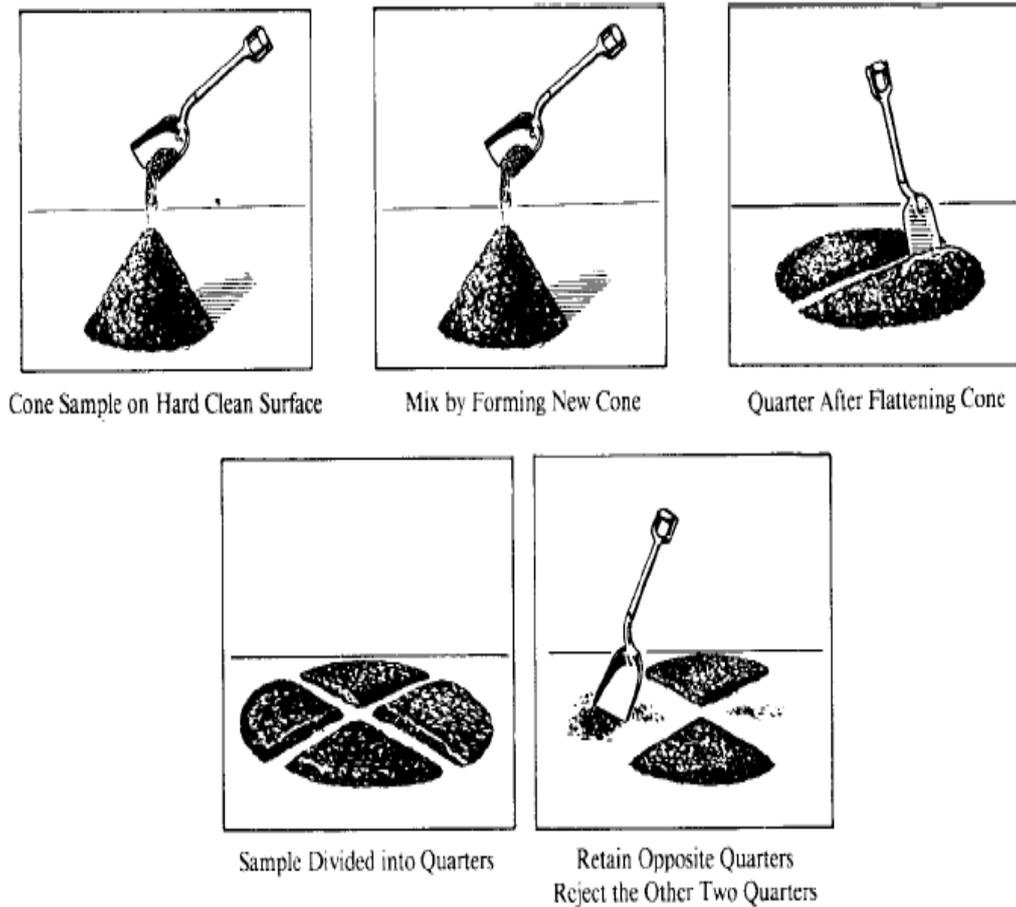


Figura 1 Tipo de reducción de muestras Tomada de la norma ASTM C 702

2.2.6. Dosificación de hormigón ACI 211

Según (Sanchez de Guzman, 2001) el documento ACI 211.1 resume el procedimiento de diseño de mezclas de hormigón

2.2.6.1. Especificaciones

Por lo general, cada proyecto tiene requerimientos particulares que dependen del tipo de estructura, condiciones de clima, sistema constructivo, tiempo y costo de ejecución, entre otros, que puede abarcar una gran gama de propiedades y características del hormigón. Frecuentemente, las especificaciones pueden solicitar algunos de los siguientes aspectos

- Máximo y/o mínimo revenimiento
- Tamaño máximo y/o máximo nominal del agregado grueso
- Contenido de aire incluido, para dar adecuada durabilidad en ciertos climas
- Resistencia a la compresión mínima necesaria, por consideraciones estructurales.
- Resistencia mínima de sobre diseño.
- Máxima relación agua-cemento y/o contenido mínimo de cemento.
- Máximo contenido de cemento, para evitar agrietamiento por exceso de temperatura en hormigón masivo.
- Máximo contenido de cemento, para evitar agrietamiento por contracción en condiciones de baja humedad.
- Tipos especiales de cemento o agregados
- Peso unitario mínimo, para presas de gravedad y estructuras similares.
- Uso de aditivos.

2.2.7.1. Dosificación

De acuerdo al metodo de diseño ACI 211.1 describe los pasos a seguir para obtener las proporciones de los agregados y el cemento en 9 pasos:

1. Elección del revenimiento

Tabla 4 Elección del revenimiento

Consistencia	Revenimiento (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; hormigóns de proyección neumática (lanzado)	Sección sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimento con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa

Semi-seca	35-50	Pavimentos fundaciones de hormigón simple	Colocación con máquinas operadoras 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 mas	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (normalmente no adecuadas para vibrarse)

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactado

2. Elección del tamaño máximo de agregado

El tamaño del agregado grueso depende del tipo de estructura y las dimensiones de esta se presenta la siguiente tabla.

Tabla 5 Elección del tamaño máximo de agregado

Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg (mm)			
	Muros reforzados vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6-15	1/2"(12)- 3/4"(19)	3/4" (19)	3/4" (19)- 1"(25)	3/4" (19)-1 1/2"(38)
19-29	3/4"(19)-1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2" (38)	1 1/2" (38)- 3"(76)
30-74	1 1/2"(38)- 3"(76)	3" (76)	1 1/2" (38)- 3"(76)	3"(76)
75 o mas	1 1/2"(38)- 3"(76)	6"(152)	1 1/2" (38)- 3"(76)	3"(76)- 6"(152)

3. Estimación del contenido de aire

Para el caso del contenido de aire el comité ACI 211 presenta tres tipos de exposición contempladas en las siguientes definiciones

Exposición ligera.- Cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del hormigón con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el hormigón no estará expuesto a agentes de congelación o deshielo.

Exposición moderada.- Implica servicios en climas donde es probable la congelación, pero en los que el hormigón no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos. Como ejemplos puede señalarse: vigas exteriores, columnas, muros, trabes o losas que no estén en contacto con el terreno húmedo y que estén ubicadas de manera que no reciban aplicaciones directas de sales descongelantes.

Exposición severa.- El hormigón expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el hormigón pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros.

Se presenta el cuadro del contenido de aire según el tipo de exposición del hormigón.

Tabla 6 Cantidad aproximada de aire esperado en hormigón sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños de agregado

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
Mm	pulg	Naturalmente atrapado	Exposición liguera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	3/8	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	1/2	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	3/4	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1 1/2	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5
152.0	6	0.2	1.0	3.0	4.0

4. Cálculo del agua de mezclado

Para la estimación del contenido de agua de mezclado se debe recordar que esta cumple con dos funciones en la mezcla de hormigón: una es la hidratación del cemento, y la otra, producir la fluidez necesaria. Los valores correspondientes en forma tabulada para estimar la cantidad del agua de mezclado por metro cubico de hormigón se muestra la siguiente tabla.

Tabla 7 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en hormigón sin aire incluido

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado en mm(pulg)							
		9.51 3/8"	12.7 1/2"	19.5 3/4"	25.4 1"	38.1 1 1/2"	50.8 2"	64.0 2 1/2"	76.1 3"
Mm	pulg	Agua de mezclado, en kg/m3 de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

5. Determinación de la resistencia de diseño

El hormigón debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}) lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de los resultados de pruebas de la resistencias por debajo de l valor de la resistencia a la compresión especificada del hormigón (f'_c). La resistencia a la compresión promedio o resistencia del diseño de la mezcla es calculada de la siguiente expresión.

$$f'_{cr} = f'_c + (t\sigma)$$

Donde:

f'_{cr} = promedio requerido de la resistencia o resistencia de diseño de la mezcla (kg/cm²)

f'_c = Resistencia especificada del hormigón (kg/cm²)

t = Constante que depende de la proporción de pruebas que se puede caer por debajo del valor de f'_c y el número de muestras usadas para hallar el valor de σ ; preferiblemente, al menos 30 muestras deben ser usadas

σ = Valor preestimado de la desviación estándar en kg/cm²

Si no hay registros de pruebas de resistencia en donde se usaron materiales y condiciones similares a aquellas que serán empleadas, la resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} en Kg/cm² se determina de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 8 Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar

Resistencia especificada f'_c (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} (kg/cm ²)
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
Mas de 350 kg/cm ²	$f'_c + 100$ kg/cm ²

Fuente (Sanchez de Guzman, 2001)

6. Selección de la relación agua- cemento.

Debido a que la resistencia del hormigón se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfaces de adherencia pasta- agregado, es común que los diferentes agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua-cemento. Por esta razón, es importante conocer o desarrollar el correspondiente entre la resistencia y la relación agua cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades (por ejemplo 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días)

Tabla 9 Relación agua – cemento en peso

Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Relación agua- cemento en peso	
	Sin aire incluidos	Con aire incluido
40	0.42	-----
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Tabla tomada de (Sanchez de Guzman, 2001)

7. Cálculo del contenido de cemento

Una vez que el contenido de agua de mezclado y la relación agua cemento se han determinado, el contenido de cemento por metro cubico de hormigón es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua cemento:

$$C = \frac{A}{(A/C)}$$

Dónde:

C= contenido de cemento, en kg/m³

A= Requerimiento de agua de mezclado, en Kg/m³

(A/C)= = Relación agua-cemento, por peso.

8. Estimación de las proporciones de los agregados

Para poder determinar las porciones de agregados se utiliza el método ACI 211.1 el cual se fundamenta en la expresión b/b₀ que fue introducida por Richart y Talbot entre 1921 y 1923 en los Estados Unidos de América. En esta expresión:

b= Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de hormigón.

b_o = Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

b/b_o = Volumen compactado de agregado grueso , por unidad de volumen de hormigón.

El valor de b_o se puede calcular a partir de la masa unitaria seca y compactada con varilla del agregado grueso y de su densidad aparente seca, puesto que

$$b_o = \frac{\text{Masa unitaria compactada}}{\text{Densidad aparente seca}}$$

En la tabla siguiente es ampliamente conocida por los usuarios del método ACI 211 y en ella se dan los valores de b/b_o en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura de arena.

Tabla 10 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla(a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena(b)					
Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
mm	pulg	2.40	2.60	2.80	3.00
9.51	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6	0.87	0.85	0.83	0.81

10. Ajuste por humedad del agregado

Debido a que los agregados pétreos presentan cierta porosidad el agua de mezclado puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas. Por otra parte, la superficie de las partículas también puede retener agua formando una película de humedad.

Las proporciones iniciales calculadas deben verificarse por medio de ensayos de asentamiento y resistencia hechos a mezclas de prueba elaboradas ya sea en el laboratorio o en el campo, teniendo en cuenta la humedad de los agregados, cuando no se cumple con el asentamiento y/o la resistencia requerida se debe hacer los ajustes a la mezcla de prueba.

11. Ajustes en las mezclas de prueba

Ajuste por asentamiento

Al preparar la primera mezcla de prueba deberá utilizarse la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento escogido. Si esta cantidad de agua por m³ de hormigón difiere de la estimada, es necesario, calcular los contenidos ajustados de agua, cemento, y agregados, y las proporciones ajustadas, teniendo en cuenta que si se mantiene constante el volumen absoluto de agua y agregado grueso por unidad de volumen de hormigón, el asentamiento no presenta mayor cambio al variar un poco los volúmenes absolutos del cemento y agregado fino.

Ajuste por resistencia

Se prepara una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas, que debe cumplir con el asentamiento y se elaboran muestras para el ensayo de resistencia

Si las resistencias obtenidas difieren de la resistencia de dosificación, se reajusta los contenidos de agua, cemento y agregados, sin perjudicar la durabilidad. Las proporciones reajustadas se calculan variando las cantidades de cemento y agregado fino para obtener la nueva relación agua/cemento,

pero dejando constante la cantidad de agua y agregado grueso por volumen unitario de hormigón, para mantener el asentamiento (Rivera, 2009)

2.2.8. Curado de hormigones

Las propiedades del hormigón, tales como la durabilidad frente a los ciclos de congelación y deshielo, resistencia mecánica, impermeabilidad, estabilidad volumétrica y resistencia al desgaste, mejoran con la edad mientras existan condiciones favorables para la continuidad del proceso de hidratación del cemento. Este mejoramiento crece rápidamente a edades tempranas y continúa, más lentamente, por un lapso indefinido, para la resistencia a la compresión. Dos condiciones se requieren para que tengan lugar tales mejoras: (1) la presencia de humedad y (2) una temperatura adecuada. (Curado del Hormigón-ICPA)

Según (Kosmatka, 2004) Cuando el cemento portland se mezcla con el agua, empieza una reacción química, llamada de hidratación. El grado de hidratación (extensión hasta la cual la reacción se completó) tiene influencia sobre la resistencia y la durabilidad del hormigón. El hormigón recién mezclado normalmente contiene más agua que la requerida para la hidratación del cemento, sin embargo la pérdida excesiva de agua por evaporación puede disminuir o prevenir la hidratación adecuada.

Condiciones básicas de un curado adecuado

Relacionando lo expuesto anteriormente, hay tres condiciones básicas:

- Los hormigones deben estar suficientemente húmedos para garantizar la hidratación del cemento.
- Una temperatura adecuada que le permitirá una buena hidratación del cemento.

Oportunidad en la iniciación del curado; se recomienda iniciar lo más pronto posible; en el hormigón es factible hacerlo tan pronto éste reabsorbe el agua de exudación. (Lafarge, 2012).

De acuerdo a la norma NTE INEN 157 determina dos tipos de curados dependiendo de la edad de la muestra así descrito a continuación

Curado inicial. Inmediatamente después del moldeo y terminando, el espécimen debe ser almacenado por un periodo de 48 horas a una temperatura entre 16°C y 27°C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40MPa o mayor, la temperatura de curado inicial debe estar entre 20°C y 26°C. Se permite la utilizar varios procedimientos capaces de mantener las condiciones de humedad y temperatura especificadas durante el periodo de curado inicial. Proteger todos los especímenes de los rayos directos del sol y de cualquier radiación calórica, si se utiliza. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, según sea necesario. Registrar la temperatura utilizando termómetro de máximas y mínimas.

Curado Final. Una vez concluido el curado inicial y dentro de los 30 minutos después de remover los especímenes de los moldes, curarlos a una temperatura de almacenamiento o cámaras de curado que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 2 528, excepto cuando se los refrente con mortero de azufre inmediatamente antes del ensayo.

Cuando se refrente con mortero de azufre, se deben secar las superficies superior e inferior del cilindro para prevenir la formación de paquetes de vapor o espuma mayores de 6 mm, debajo o dentro del refrentado, como se describe en la norma ASTM C 617. Para un periodo que no exceda de tres horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere temperaturas de curado normalizado, a condición de que se mantenga en los cilindros la humedad libre y la temperatura ambiente entre 20°C y 30°C.

Con el curado adecuado, el hormigón se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación-deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un periodo de tiempo indefinido. Las Figuras muestran el

desarrollo de la resistencia con relación a la edad, de hormigóns sujetos a diferentes períodos y temperaturas de curado, respectivamente.

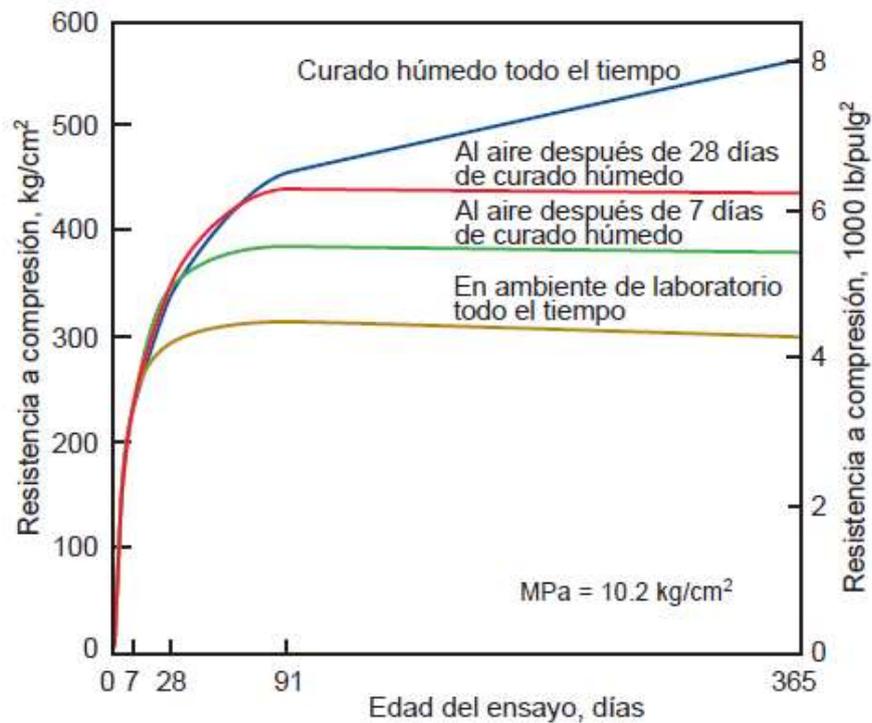


Figura 2 Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón (Gonnerman y Shuman 1928) Tomado del libro (Kosmatka, 2004)

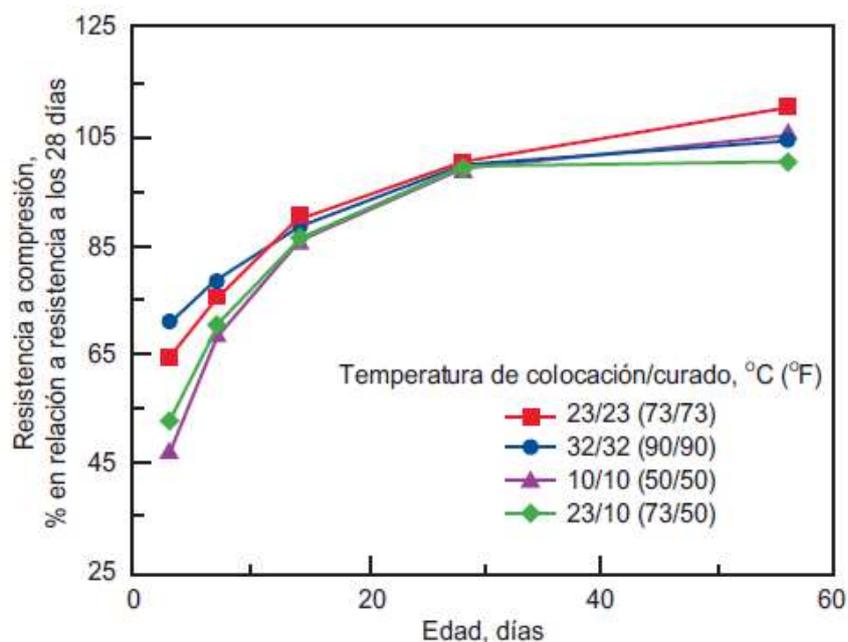


Figura 3 Relación resistencia temperatura en diferentes temperaturas de curado Tomado del libro (Kosmatka, 2004)

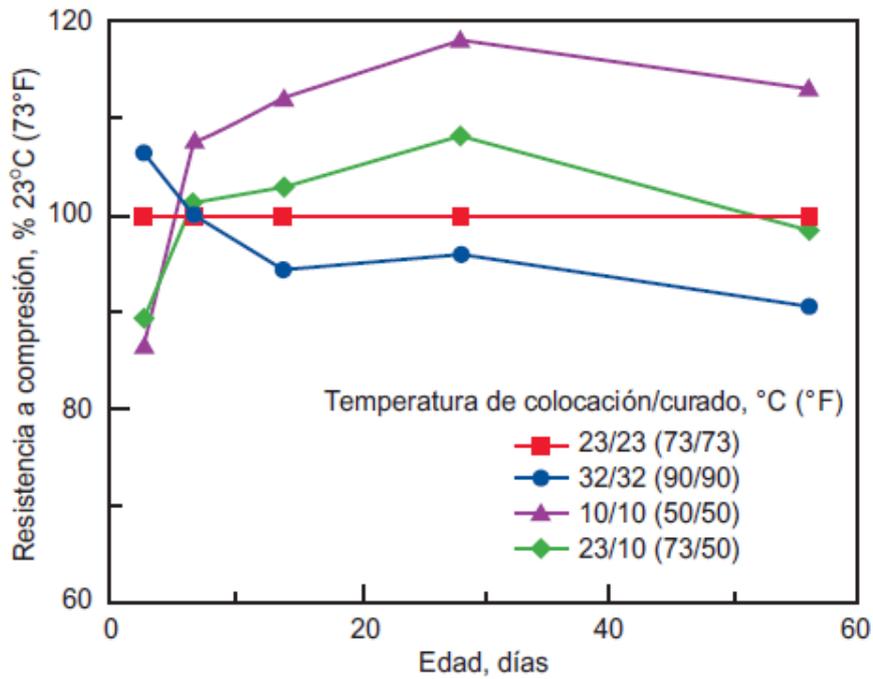


Figura 4 Efecto de la temperatura de curado sobre el desarrollo de la resistencia (superior) en relación a la resistencia a los 28 días y (inferior) relativa a la resistencia del hormigón a 23 °C (73°F)(Burg 1996) tomados del Libro (Kosmatka, 2004).

El curado se puede realizar de varias maneras.

- Mojar la estructura permanentemente (Esto no siempre es posible).
- Cubrir las estructuras con telas de plástico bien apegadas a la superficie (hay que asegurarse que no haya circulación de aire entre el plástico y el hormigón).
- Cubrir con pinturas impermeables la superficie del hormigón. (estas pinturas son especiales y están a disposición en cualquier comercio de aditivos a precios accesibles)
- Mientras el hormigón está fresco, evitar contacto con sustancias agresivas (Aguas servidas, desechos industriales, aguas sulfurosas, etc.)
- El objetivo fundamental es evitar que la mezcla se seque antes de que haya ganado la resistencia requerida. (Lafarge, 2012)

2.2.8.1. Humedad

Si sabemos que la resistencia es producto de la reacción química del agua con el cemento, para que se desarrolle todo el potencial de resistencia del cemento debemos mantener suficiente suministro de agua para que el hormigón en lo posible esté saturado (100 % de humedad) o cerca de ello, ya que solo así evitaremos pérdida de humedad de la superficie del hormigón por evaporación. (Lafarge, 2012)

2.2.8.2. Temperatura

Su influencia en el desarrollo de resistencia es importante; por ello es recomendable en lo posible mantener una condición de temperatura cercana a los 20 ° C; ó tratando de evitar que sean inferiores a 10 ° C. Cuando los diferenciales de temperatura del hormigón sean muy grandes, seguro favorecerá la pérdida de humedad por evaporación. (Lafarge, 2012)

2.2.9. Resistencia a la compresión

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010).

2.2.10. Preparación y acondicionamiento de las muestras.

Dimensiones

El diámetro y la altura del espécimen de prueba debe determinarse promediando las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen y 2 alturas opuestas con una aproximación de 1 mm. Para medir el diámetro, es suficiente utilizar el compás de punta. Cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1,8 veces el diámetro, el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo a la Tabla. Los valores intermedios que no aparecen en la Tabla deben calcularse por interpolación, no deberán ensayarse especímenes con relación diámetro a altura menor de 1:1.

Tabla 11 Factores de corrección por esbeltez

Relación Altura-Diámetro del espécimen	Factor de corrección a la resistencia
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

(Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010)

Cabeceo

Los especímenes deben ser cilindros de 150 mm por 300 mm o de 100 mm por 200 mm, elaborados de acuerdo con la norma ASTM C 192. Ninguno de los extremos de un cilindro debe apartar de la perpendicular al eje en más de 0,5°(aproximadamente 3 mm en 300 mm) Ningún diámetro individual de un cilindro puede diferir de cualquier otro diámetro en más del 2%. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2650, 2012).

Condiciones Ambientales

Especímenes húmedos

El ensayo a la compresión de los especímenes curados en húmedo debe efectuarse tan pronto como sea posible después de retirarlos de la pileta o del cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida verificada. Durante el tiempo transcurrido entre el retiro del almacenamiento húmedo y el ensayo, se debe prevenir la pérdida excesiva de humedad en los especímenes.

Condiciones especiales de humedad

En el caso de especímenes sometidos en condiciones de curado especiales, curado a vapor o curado ambiente, los especímenes se deben ensayar con la condición de humedad resultante del curado especificado (a vapor, medioambiente, etc.). (IMCYC, 2008)

Procedimiento

Se debe realizar los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo, tan pronto sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. Los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda. Se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el periodo comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo. Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias del tiempo admisible de la tabla.

Tabla 12 Tolerancia admisible para el ensayo de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6 %
28días	20 Horas o 3,0 %
90 días	2 días o 2,2 %

(Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010)

Velocidad de ensayo

La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. Se debe mantener la velocidad de movimiento señalada al menos durante la última mitad de la fase de la carga esperada. (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010)

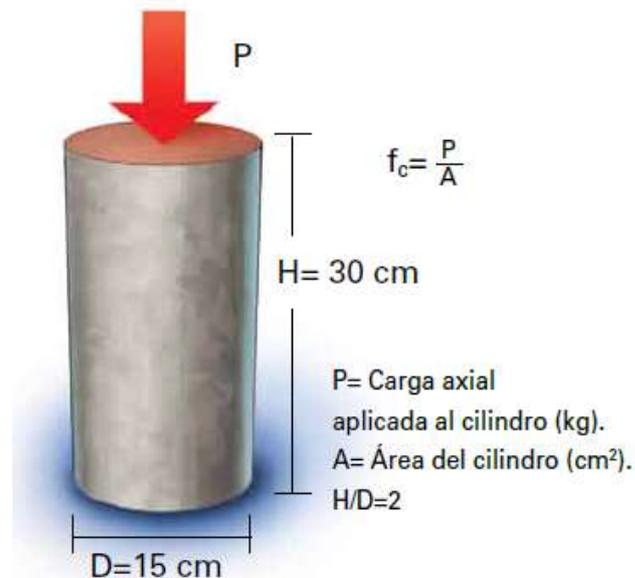


Figura 5 Diagrama de cilindros de hormigón tomado de (IMCYC, 2008)

En el ensayo de compresión simple de hormigón se espera diferentes tipos de fracturas o formas de las fallas descritas a continuación por la norma ASTM C39/C39m y adaptada por la norma INEN 1573.

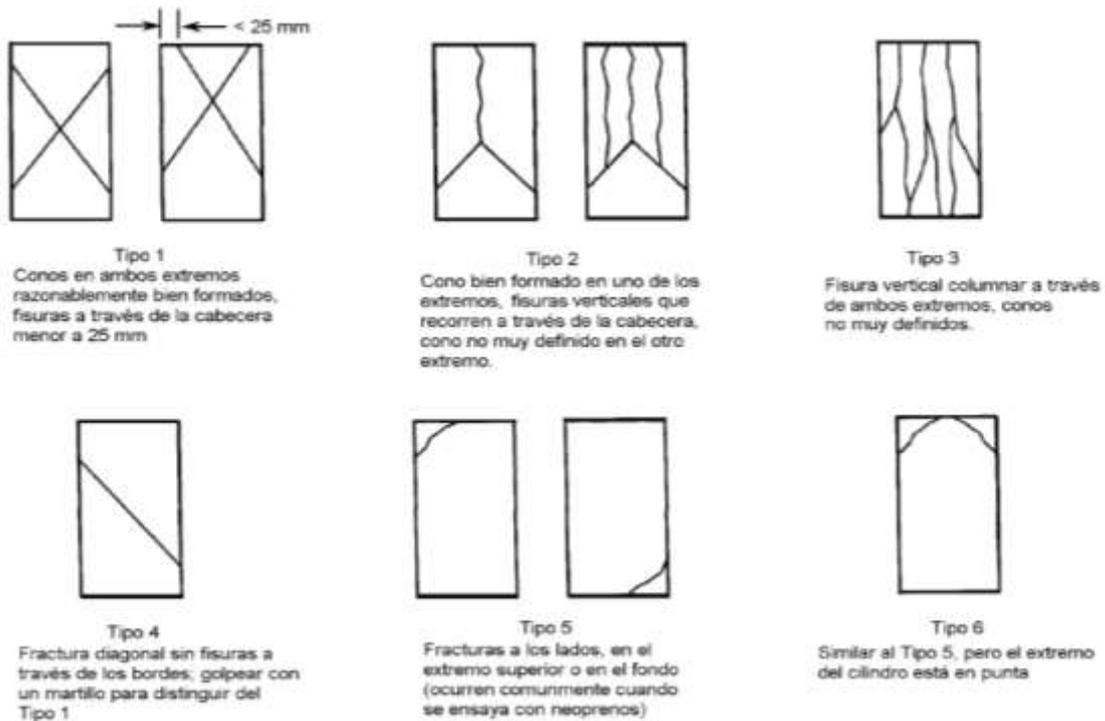


Figura 6 Esquema de los modelos típicos de fractura tomado de (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2010)

2.2.11. Extracción de núcleos

Según la tesis doctoral de (Rojas Henao, 2012) La extracción de testigos para ensayos a compresión se realiza comúnmente para evaluar las siguientes propiedades y características:

- La calidad del hormigón suministrado para la estructura (Resistencia Potencial)
- La calidad del Hormigón en la estructura (Resistencia in situ)
- La capacidad portante de la estructura.
- El deterioro de una estructura debido a diferentes causas, tales como sobrecargas, fatiga, reacciones químicas, incendios o explosiones, intemperie, etc.

La extracción, examen y ensayo a compresión, cumple con la norma americana ASTM C 42/ C42M "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete".

El número de testigos a extraerse puede ser variable pero lo que si es preciso es que la “separación” entre ellos sea la suficiente para que corresponda a masadas diferentes de un mismo lote (Rojas Henao, 2012).

Las investigaciones en general muestran que la resistencia a la compresión simple del hormigón medida a partir de núcleos extraídos de la estructura, es menor que la suministrada por los cilindros moldeados, curados y ensayados a la misma edad. Esta diferencia puede estar influenciada por la eficacia de curado en las obras y por la exposición de la estructura a factores ambientales como cambios fuertes de temperatura y agua lluvia. (Incapie & Valencia , 2003)

Para comprender la variación en la resistencia de los testigos extraídos del hormigón se presenta una serie de variables que pueden influenciar en el comportamiento y sus propiedades mecánicas al momento de ser sometidos a carga axial según (Rojas Henao, 2012)se describe a continuación estas variables

Variables o factores que influyen en los resultados de ensayos

Los resultados del ensayo de resistencia a compresión de los testigos pueden verse influidos por diversas variables. Estas han sido identificadas por un gran número de investigadores, aunque en algunos casos no existen consensos en sus conclusiones. Entre las variables que más se destacan se encuentran:

- Diámetro del Testigo
- Dirección de Extracción en relación con la dirección del hormigón.
- Estado de humedad de los testigos en el momento del ensayo.
- Esbeltez de la probeta.
- Existencia de armadura de los testigos.
- Edad del testigo.

Existen otras variables o factores que influyen a la resistencia a la compresión y que son intrínsecas de los testigos. Entre ellas están:

- El efecto producido por la extracción y corte, el cual puede generar un cierto nivel de daño en el hormigón del testigo.
- El “efecto pared”, producido por el bloqueo que ejerce la pared en los moldes sobre el asentamiento del hormigón, que además es función del tamaño máximo de los áridos y la cantidad de mortero necesario para rellenar los espacios entre estas partículas.
- Las condiciones de contorno, las cuales se manifiestan como irregularidades en las superficies laterales de los testigos provocados por las sondas de extracción y que reduce la resistencia.
- El efecto escala generado por la influencia que tiene las dimensiones del testigo sobre la de los componentes del hormigón.

Extracción de Núcleos - Un núcleo de hormigón debe ser taladrado en forma perpendicular a la superficie y no cerca de las juntas constructivas o bordes obvios de un elemento estructural. Registrar y reportar el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo taladrado y el plano horizontal de colocación del hormigón. Un núcleo perforado en forma perpendicular a una superficie vertical, o perpendicular a una superficie inclinada, debe ser extraído en lo posible cerca del centro del elemento (Norma Técnica Coguanor NTG41049, 2005)

Saca núcleos – Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante. (Instituto Nacional de Vías Colombia INV E – 41-07)

Muestreo

Generalidades – Las muestras de hormigón endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el hormigón haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción

de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el agregado grueso. En general, el hormigón deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de hormigón endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.

Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión. (Instituto Nacional de Vías Colombia INV E – 41-07)

Mediciones - Antes de realizar el ensayo, se debe medir la longitud del núcleo encabezado o esmerilado con aproximación de 2 mm (0.1 pulg) y usar esta longitud para calcular la relación longitud – diámetro (L/D). Determinar el diámetro promedio promediando dos mediciones tomadas en ángulo recto, una con respecto a la otra, cerca de la altura media del núcleo. Medir los diámetros de los núcleos con aproximación de 0.2 mm (0.01 pulg) cuando la diferencia en los diámetros no exceda del 2% de su promedio; de otro modo medirlos con aproximación de 2 mm (0.1 pulg). No ensaye los núcleos, si la diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor excede del 5% de su promedio.

Ensayo - Ensayar los especímenes de acuerdo con los requisitos del Método de Ensayo C 39/C 39M. Ensayar los especímenes dentro de los 7 días siguientes a su extracción a menos que se especifique de otro modo. Según el ACI 318.5.6.5.3 no se deben ensayar antes de 48 horas y no después de 7 días, si se usa agua durante el aserrado o esmerilado de los extremos de los núcleos. (Norma Técnica Coguanor NTG41049, 2005)

Cálculos – El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a 1.75, la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

Tabla 13 Factores de corrección de resistencia

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Estos factores de corrección se aplicarán a hormigón liviano (1600 a 1920 kg/m³) y a hormigón normal, y son aplicables tanto a hormigón seco como húmedo en el momento del ensayo.

Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación.

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 2000 y 6000 lb/pul² (13.8 a 41.4 MPa). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

CAPITULO III

3. Experimentación

3.1. Metodología

La investigación se desarrolló tanto desde el punto de vista cualitativo como desde el punto de vista cuantitativo, cualitativo por cuanto los resultados de la aplicación práctica, son interpretados con la ayuda del marco teórico cuantitativos cuanto se utilizará la investigación descriptiva para recopilar los datos y posteriormente procesarlos con un procesador de datos y herramientas estadísticas compatibles con el tema de estudio para la comparación de las resistencias de los núcleos y cilindros.

La presente investigación se la realiza basándose en las normas NTE INEN, ASTM, NTG (GUATEMALA), INV (COLOMBIA) correspondientes a la fabricación de hormigón en obra, curado de cilindros de hormigón, resistencia a la compresión simple de hormigones, extracción de núcleos de hormigón.

Para la elaboración del proyecto, un tipo de investigación experimental ya que se refiere a un estudio en laboratorio de las propiedades mecánicas del hormigón, las mismas que están dirigidas a la obtención de la resistencia a compresión simple tanto en cilindros de hormigón como en núcleos extraídos.

Para tal efecto se considera una muestra finita de elementos fabricados en laboratorio para luego ser ensayados, los mismos que serán puestos a diferentes condiciones de almacenamiento para determinar la variación de sus propiedades mecánicas luego de 28 días de edad.

La presente investigación se enfoca en el control de la resistencia a la compresión de elementos estructurales que hayan concluido el proceso de fraguado el mismo que está considerado a los 28 días de edad, en la elaboración de elementos estructurales de hormigón simple los que estarán a la intemperie que luego se procederá a la extracción de núcleos y determinar su resistencia a la compresión simple para compararlos con la resistencia de

los cilindros normalizados que estarán sometidos a diferentes procesos de curado , adicionalmente se analizara la variación de los resultados entre los dos elementos.

3.2. Diseño de hormigones

Para la fabricación de los elementos de estudio se procede a realizar la caracterización de los agregados de materiales pétreos de las canteras del sector de Pintag constituidos por rocas de formación volcánica clasificados como basaltos de color rojizo. Los ensayos que se realizó a los agregados constituyentes del hormigo se detallan a continuación.

Contenido de humedad.- esta práctica se basada en la norma ASTM C 566 la cual nos permite determinar la cantidad de agua contenida en el agregado en estado natural, lo que permitirá estimar la cantidad de agua que hay que añadir a la mezcla para elaborar el hormigón



Figura 7 Muestras de agregado para contenido de humedad

Tabla 14 Contenido de humedad calculado en los agregados

MUESTRA	FINO		GRUESOS	
	E42	SI	YS	69
RECIPIENTE				
PESO DEL RECIPIENTE (g)	123,40	121,10	39,60	50,60
PESO DEL RECIPIENTE + MUES	176,20	189,70	208,80	248,40
PESO DEL RECIPIENTE + MUES	174,50	187,40	204,50	244,10
PESO DEL AGUA (g)	1,70	2,30	4,30	4,30
PESO SECO (g)	51,10	66,30	164,90	193,50
% AGUA	3,33	3,47	2,61	2,22
% AGUA PROMEDIO	3,40		2,41	

Elaborado por el autor

Determinación de gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino.- Basado en la norma ASTM C 128 este ensayo sirve para obtener las propiedades físicas que servirá para determinar las proporciones en la mezcla de hormigón, la variación de estas propiedades justifica un ajuste en el diseño de la mezcla.

Tabla 15 Determinación de gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	482,8
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	663,8
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm ³)	960,8
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO		1
$(C/C+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm³)	2,598
$(A/A+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm³)	2,462
$(C/A+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm³)	2,377
$(A-C/C)*100$	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	3,6

Elaborado por el autor

Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.- basado en la norma ASTM C 127

Tabla 16 Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	1044,1
B	PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	(g)	608,6
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	1016,6
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	1
$(C/C-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2,492
$(A/A-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2,397
$(C/A-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2,334
$(A-C/C)*100$	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	2,7

Elaborado por el autor

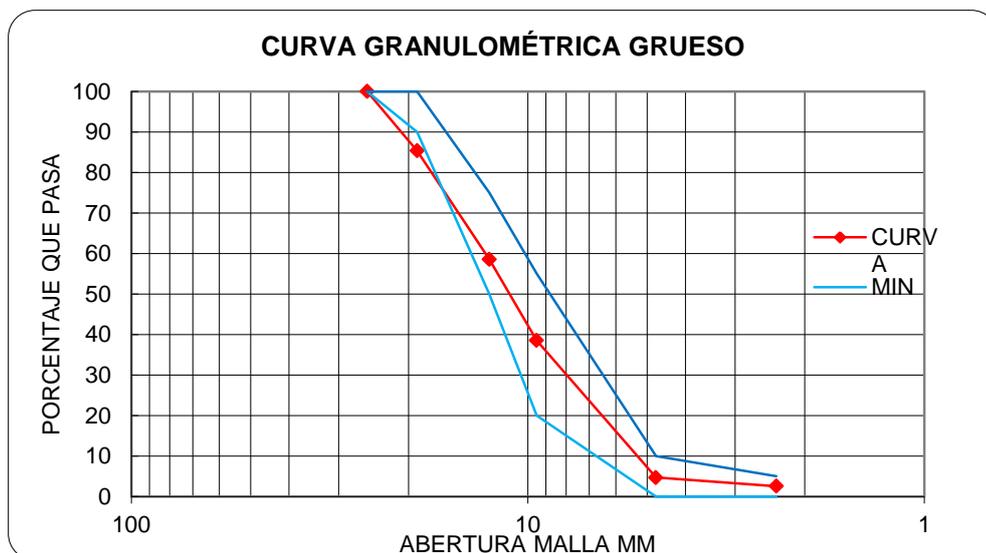


Figura 8 Agregado grueso saturado

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.- Esta práctica permite determinar la distribución de las partículas de los agregados mediante tamizado lo cual permite controlar el tamaño de las partículas en diferentes especificaciones, como son el control de la producción de agregados y mezclas que contenga agregados norma ASTM C 136

Tabla 17 Granulometría de agregado grueso

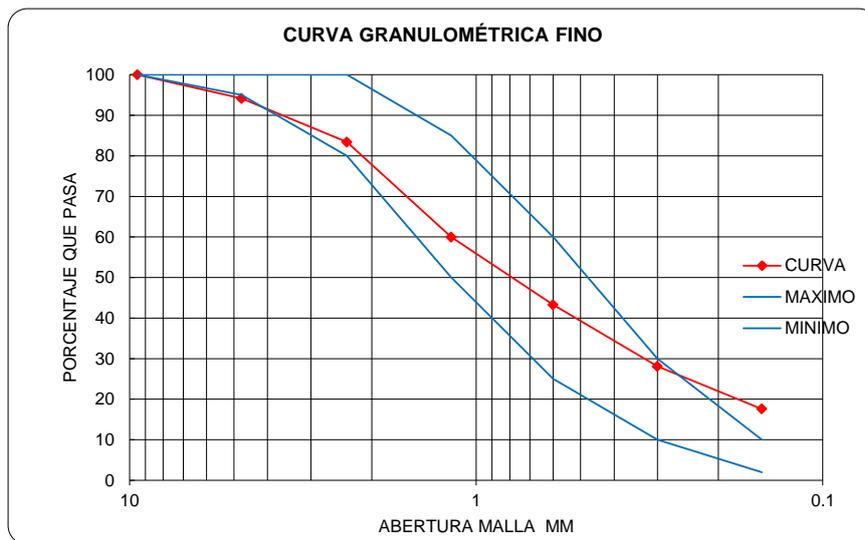
MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO 3/4 "				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	0,00	0,00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	1154,60	1154,60	15	85
1/2"(12,5mm)	2109,80	3264,40	41	59
3/8 " (9,51 mm)	1579,80	4844,20	61	39
No. 4 (4,76 mm)	2666,00	7510,20	95	5
No. 8 (2.36 mm)	168,20	7678,40	97	3
Pas No. 8	200,00	7878,40		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)			7879,5	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			1 pulg	



Elaborado por el autor

Tabla 18 Granulometría de agregado fino

MUESTRA No. MUESTRA ARENA LAVADA				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	30	30	6	94
No. 8 (2,36 mm)	55	85	17	83
No. 16(1,18 mm)	120	205	40	60
No. 30(0,6 mm)	85,3	290,3	57	43
No. 50(0,30mm)	77,7	368	72	28
No. 100(0,15 mm)	53,7	421,7	82	18
PasNo 100	90	511,7		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)			416,2	
MODULO DE FINURA			2,7	



Elaborado por el autor

Debido a que se utilizó material comercial cribado no se puede realizar una estabilización granulométrica en los agregados ya que se trató de establecer las condiciones más apegadas a la realidad de la ejecución de las obras con respecto a la fundición de los hormigones.

Densidad volumétrica (peso unitario) y vacíos del agregado.- Este método de ensayo se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente que se requieren para utilizarse en muchos métodos

para seleccionar las proporciones de las mezclas de hormigón. Norma ASTM C29

Tabla 19 Densidad volumétrica (peso unitario) y vacíos del agregado grueso

DENSIDAD SUELTA DE GRAVA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2106,8	2106,8
Peso molde +suelo (g)	11392,6	11328,4
Peso suelo (g)	9285,8	9221,6
Volumen (cm³)	7310	7310
Densidad suelta (g/cm³)	1,270	1,262
Media (g/cm³)	1,266	

DENSIDAD VARILLADA DE GRAVA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2106,8	2106,8
Peso molde +suelo (g)	12184,1	12170,3
Peso suelo (g)	10077,3	10063,5
Volumen (cm³)	7310	7310
Densidad suelta (g/cm³)	1,379	1,377
Media (g/cm³)	1,378	

Elaborado por el autor

Tabla 20 Densidad volumetrica (peso unitario) y vacios del agregado fino

DENSIDAD SUELTA DE ARENA

Molde No.		
Peso molde (g)	2667,5	2667,5
Peso molde +suelo (g)	6329,1	6345,3
Peso suelo (g)	3661,6	3677,8
Volumen (cm3)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm3)	1,302	1,307
Media	1,305	

DENSIDAD VARILLADA DE ARENA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2667,5	2667,5
Peso molde +suelo (g)	7024,8	7094,1
Peso suelo (g)	4357,3	4426,6
Volumen (cm3)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm3)	1,549	1,574
Media	1,561	

Elaborado por el autor

Cemento utilizado en la dosificación.- Para realizar la dosificación del hormigón se utilizó cemento hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos tipo MS, cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 2380, y ASTM C 1157, el mismo que permita alcanzar fácilmente las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades en condiciones normales se pueden obtener resistencias a la compresión entre 30 y 40 MPa posee un progresivo crecimiento de las resistencias aun después de los 28 días de edad puede alcanzar hasta un 20% más a los 90 días

3.3. Fabricación de elementos para ensayo

Para alcanzar los objetivos de la investigación se procede a fundir una columna de hormigón simple de dimensiones 1.0m x 0.40m x 0.30m y una viga de dimensiones 1.0m x 0.40m x 0.30m y para el control de la resistencia se procedió a elaborar cilindros normalizados de dimensiones 0.15 m de diámetro por 0.30m de altura en una cantidad de 24 especímenes de los cuales 12 se los curo en agua a temperatura constante de 23 grados centígrados y los 12 restantes se los coloco junto a la viga y columna en condiciones atmosféricas.

Para la fabricación de los elementos de hormigón se confeccionó encofrados de madera con las dimensiones descritas anteriormente rigidizándoles de manera que los esfuerzos que se producen al momento de la fundación de los elementos no vayan a deformar la estructura produciendo bombeos en las paredes del elemento.



Figura 9 Nivelación y apuntalamiento de encofrados



Figura 10 Encofrados listos para fundir

La fundición de los elementos se lo realizo con la mezcla de los materiales de las canteras del sector de Pintag ya que este material es el más utilizado en el sector donde se realizo la investigación y cemento Lafarge (que es el de mayor consumo) en una concretera de capacidad de un saco cemento (50 Kg), los elementos fueron fundados en capas las cuales fueron compactadas con vibrador de hormigones y finalmente alisados en su parte superior



Figura 11 Concretera de un saco de capacidad



Figura 12 Cemento utilizado



Figura 13 Colocación de los agregados en la concreteira



Figura 14 Colocación del hormigón



Figura 15 Vibrado del hormigón en la columna



Figura 16 Vibrado del hormigón en la viga



Figura 17 Vibrador para hormigón

3.4. Elaboración de cilindros de hormigón, curado y ensayos de compresión simple

Los cilindros de normalizados fueron fabricados con el material del hormigón que fue utilizado para la fabricación de la columna y viga bajo las siguientes normas

ASTM C 1064 Método de ensayo estándar para la medición de temperatura del hormigón de cemento hidráulico recién mezclado.

ASTM C 143 Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el hormigón a base de cemento hidráulico

ASTM C 31 Práctica normalizada para la preparación y curado de especímenes de ensayo de hormigón en la obra

Se fabricó un total de 12 cilindros para la columna y 12 cilindros para la viga, de estos cilindros fueron colocados seis en la cámara de curado a 23 grados centígrados y los seis restantes junto al elemento fundido lo que nos permite determinar la variación de la resistencia por efecto del tipo de curado.



Figura 18 Determinación del revenimiento de la mezcla

El varillado de los cilindros se lo realiza de acuerdo a a NOTRRMA ASTM C31 en el capítulo



Figura 19 Varillado de en la fabricación de cilindros



Figura 20 Enrasado de cilindros



Figura 21 Cilindro terminado

Los cilindros fueron ensayados a los 3, 7 14, 21 y 28 días después de fundidos lo que permite determinar la curva de esfuerzo del hormigón y determinar el esfuerzo máximo alcanzado a los 28 días y luego compararlos con los diferentes tipos de curado de cilindros.

Para este ensayo se utilizó una máquina de compresión simple de 2000 Kn de capacidad la misma que está debidamente calibrada dicha calibración se adjunta en los anexos.



Figura 22 Máquina de compresión simple 2000 kN



Figura 23 Ensayo de compresión de cilindros de hormigón

Los datos obtenidos son procesados a través de tablas y gráficos estadísticos en los cuales se determinara las variaciones de resistencia entre los cilindros curados en agua y los cilindros a la intemperie, la variación de resistencia entre los cilindros a la intemperie y los núcleos extraídos de las vigas y columnas, la variación de resistencia entre los núcleos de diferente diámetro de un mismo elemento, y la variación de la resistencia entre, los cilindros extraídos horizontalmente y los extraídos verticalmente. (Carrasco I. M., 2009)

Los resultados obtenidos en el procesamiento de datos son discutidos y se verifica si existe la reducción en el esfuerzo a compresión de los núcleos, debido al proceso de extracción, si estos reflejan la resistencia real de la estructura.

3.5. Extracción de Núcleos, preparación de muestras y ensayo de compresión simple en núcleos

En los elementos fundidos a la edad de 24 días de fundición se procedió a extraer probetas cilíndricas con el equipo de rotación con brocas de diamante de diámetros 9.5, 7.0 y 5.1 cm de diámetro de acuerdo a la norma ASTM C 42, teniendo en cuenta la relación entre el diámetro (d) y su longitud (l) que fue de $d/l= 2$, se procedió al refrentado con un mortero de azufre para luego ensayarlos y determinar la resistencia a compresión simple.



Figura 24 Brocas utilizadas

Los núcleos se procedieron a extraer en diferentes tamaños como se muestra en el siguiente gráfico

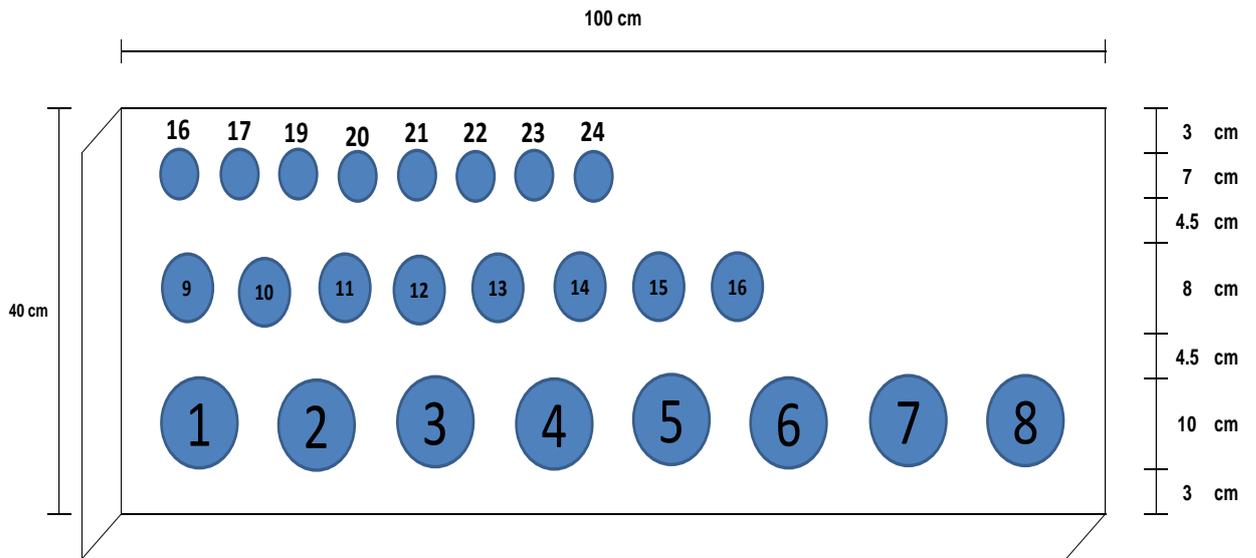


Figura 25 Esquema de extracción de núcleos en viga



Figura 26 Extracción de núcleos en viga

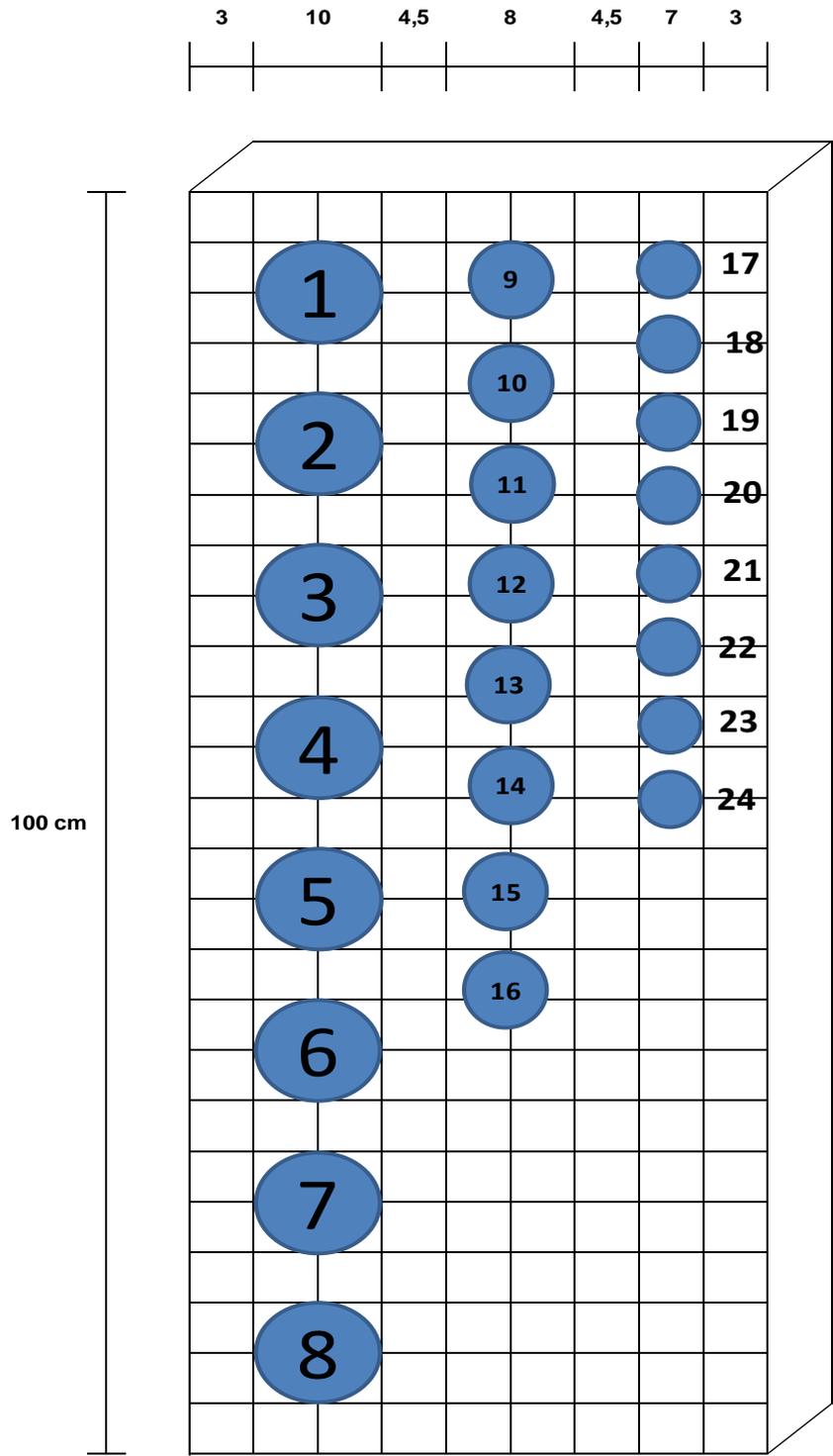


Figura 27 Esquema de extracción de núcleos en columna



Figura 28 Extracción de núcleos en columna



Figura 29 Compresión de núcleos de hormigón

CAPITULO IV

4. Procesamiento de datos

4.1. Análisis de resultados

A continuación se presenta los resultados de los ensayos obtenidos en la investigación.

Tabla 21 Ensayo de compresión de cilindros fabricados - Columna

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
COLUMNA												
CILINDROS CURADOS A INTEMPERIE												
1	2013-08-06	2013-08-09	11613	30,20	15,23	182,2	5501,70	2,111	13429	73,71	3	COL1
2	2013-08-06	2013-08-13	11322	30,1	15,20	181,5	5461,90	2,073	18707	103,09	7	COL2
3	2013-08-06	2013-08-20	11482	30,0	15,10	179,1	5372,36	2,137	26777	149,53	14	COL3
4	2013-08-06	2013-08-27	11374	30,00	15,20	181,5	5443,75	2,089	31291	172,44	21	COL4
5	2013-08-06	2013-09-03	11495	30,2	15,23	182,2	5492,59	2,093	36662	201,25	28	COL5
6	2013-08-06	2013-09-03	11081	29,7	15,1	178,6	5308,13	2,088	35383	198,11	28	COL6
CILINDROS CURADOS BAJO NORMA												
7	2013-08-06	2013-08-09	11650	30,10	15,00	176,7	5319,11	2,190	13283	75,17	3	COL7
8	2013-08-06	2013-08-13	12054	30,2	15,1	179,1	5408,17	2,229	21448	119,77	7	COL8
9	2013-08-06	2013-08-20	11887	30,3	15,2	181,5	5498,19	2,162	27279	150,33	14	COL9
10	2013-08-06	2013-08-27	11443	29,95	15,00	176,7	5292,60	2,162	33190	187,82	21	COL10
11	2013-08-06	2013-09-03	11781	30,2	15,1	179,1	5399,22	2,182	37364	208,65	28	COL11
12	2013-08-06	2013-09-03	11952	30,1	15,2	181,5	5452,8	2,192	40662	224,08	28	COL12

Tabla 22 Ensayo de compresión de cilindros fabricados- Viga

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
VIGA												
CILINDROS CURADOS A INTEMPERIE												
1	2013-08-06	2013-08-09	11431	30,20	15,21	181,7	5487,26	2,083	10745	59,14	3	VIG 1
2	2013-08-06	2013-08-13	11388	30,1	15,2	181,5	5461,90	2,085	16670	91,87	7	VIG2
3	2013-08-06	2013-08-20	11570	30,3	15,3	183,9	5570,77	2,077	23983	130,45	14	VIG3
4	2013-08-06	2013-08-27	10919	29,85	14,95	175,5	5239,82	2,084	25533	145,46	21	VIG 4
5	2013-08-06	2013-09-03	10880	30,3	15,0	176,7	5345,62	2,035	29212	165,31	28	VIG5
6	2013-08-06	2013-09-03	11247	30,5	15,2	180,3	5489,12	2,049	27740	153,88	28	VIG6
CILINDROS CURADOS BAJO NORMA												
7	2013-08-06	2013-08-09	12077	30,2	15,20	181,5	5480,04	2,204	11870	65,41	3	VIG7
8	2013-08-06	2013-08-13	12293	30,3	15,3	183,9	5570,77	2,207	19678	107,03	7	VIG8
9	2013-08-06	2013-08-20	11980	30,3	15,2	181,5	5498,19	2,179	22883	126,11	14	VIG9
10	2013-08-06	2013-08-27	11525	29,9	15,0	176,7	5283,77	2,181	28909	163,59	21	VIG10
11	2013-08-06	2013-09-03	12016	30,4	15,3	182,7	5552,69	2,164	33388	182,79	28	VIG11
12	2013-08-06	2013-09-03	11540	30,4	15,2	181,5	5516,3	2,092	32543	179,34	28	VIG12

**Tabla 23 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 9.5 cm -
Columna**

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
COLUMNA , EXTRACCION HORIZONTAL												
1	2013-08-06	2013-09-03	2793	19,05	9,4	69,7	1327,66	2,104	11559	165,86	28	COLUMNA
2	2013-08-06	2013-09-03	2754	19,96	9,4	69,7	1391,08	1,980	11975	171,82	28	COLUMNA
3	2013-08-06	2013-09-03	2773	19,04	9,4	69,8	1329,78	2,085	12027	172,20	28	COLUMNA
4	2013-08-06	2013-09-03	2763	18,9	9,4	69,8	1318,61	2,096	12194	174,60	28	COLUMNA
5	2013-08-06	2013-09-03	2779	18,9	9,4	69,8	1318,61	2,107	11904	170,44	28	COLUMNA
6	2013-08-06	2013-09-03	2807	19,1	9,4	70,0	1334,00	2,104	11382	162,62	28	COLUMNA
7	2013-08-06	2013-09-03	2819	19,1	9,4	69,8	1332,57	2,115	11525	165,02	28	COLUMNA
8	2013-08-06	2013-09-03	2798	19,0	9,4	69,8	1328,38	2,106	11320	162,08	28	COLUMNA

**Tabla 24 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 7.0 cm -
Columna**

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
COLUMNA , EXTRACCION HORIZONTAL												
9	2013-08-06	2013-09-03	1121	14,25	6,9	37,8	539,04	2,080	6604	174,58	28	COLUMNA
10	2013-08-06	2013-09-03	119	14,26	7,0	37,9	540,98	0,219	6785	178,85	28	COLUMNA
11	2013-08-06	2013-09-03	1101	14,17	7,0	38,0	539,11	2,042	6522	171,42	28	COLUMNA
12	2013-08-06	2013-09-03	1119	14,1	7,0	38,2	536,08	2,087	6856	179,69	28	COLUMNA
13	2013-08-06	2013-09-03	1129	14,2	7,0	38,2	542,19	2,082	6793	178,04	28	COLUMNA
14	2013-08-06	2013-09-03	1125	14,1	7,0	37,9	534,91	2,103	6553	172,74	28	COLUMNA
15	2013-08-06	2013-09-03	1129	14,1	7,0	38,0	537,59	2,099	6994	183,83	28	COLUMNA
16	2013-08-06	2013-09-03	1116	14,1	7,0	38,0	534,55	2,088	6840	179,78	28	COLUMNA

**Tabla 25 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 5.1 cm -
Columna**

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
COLUMNA , EXTRACCION HORIZONTAL												
17	2013-08-06	2013-09-03	454	10,58	5,1	20,7	219,55	2,068	4051	195,23	28	COLUMNA
18	2013-08-06	2013-09-03	451	10,55	5,1	20,5	216,36	2,086	4255	207,48	28	COLUMNA
19	2013-08-06	2013-09-03	453	10,52	5,1	20,7	217,44	2,081	4072	197,01	28	COLUMNA
20	2013-08-06	2013-09-03	454	10,5	5,1	20,6	216,18	2,098	4390	213,22	28	COLUMNA
21	2013-08-06	2013-09-03	456	10,6	5,1	20,3	215,89	2,112	4258	209,26	28	COLUMNA
22	2013-08-06	2013-09-03	448	10,5	5,0	19,6	206,76	2,165	4352	221,65	28	COLUMNA
23	2013-08-06	2013-09-03	442	10,4	5,0	19,8	205,84	2,147	4412	222,91	28	COLUMNA
24	2013-08-06	2013-09-03	445	10,4	5,1	20,3	212,23	2,099	4091	201,05	28	COLUMNA

**Tabla 26 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 9.5 cm -
Viga**

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
VIGA , EXTRACCION VERTICAL												
1	2013-08-06	2013-09-03	2768	19,16	9,4	69,7	1335,33	2,073	11159	160,12	28	VIGA
2	2013-08-06	2013-09-03	2781	19,09	9,4	69,5	1327,62	2,095	10616	152,65	28	VIGA
3	2013-08-06	2013-09-03	2696	18,98	9,4	69,4	1317,17	2,047	10945	157,71	28	VIGA
4	2013-08-06	2013-09-03	2764	19,0	9,4	69,8	1326,99	2,083	11163	159,83	28	VIGA
5	2013-08-06	2013-09-03	2750	20,0	9,4	69,8	1394,04	1,973	11286	161,59	28	VIGA
6	2013-08-06	2013-09-03	2738	19,0	9,4	69,5	1324,15	2,068	10861	156,17	28	VIGA
7	2013-08-06	2013-09-03	2747	19,0	9,4	69,8	1325,59	2,072	11493	164,56	28	VIGA
8	2013-08-06	2013-09-03	2778	19,2	9,4	70,0	1341,70	2,070	11399	162,87	28	VIGA

**Tabla 27 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 7.0 cm -
Viga**

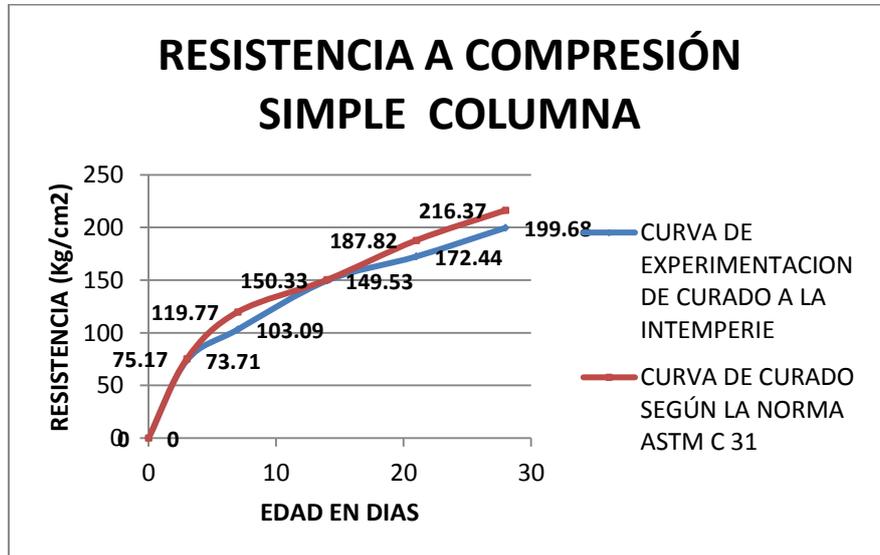
Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
VIGA , EXTRACCION VERTICAL												
9	2013-08-06	2013-09-03	1124	14,24	7,0	37,9	540,22	2,081	6404	168,81	28	VIGA
10	2013-08-06	2013-09-03	1108	14,02	6,9	37,7	528,82	2,094	6286	166,65	28	VIGA
11	2013-08-06	2013-09-03	1110	14,05	6,9	37,8	531,48	2,089	6270	165,75	28	VIGA
12	2013-08-06	2013-09-03	1114	14,2	7,0	38,0	539,11	2,065	6425	168,87	28	VIGA
13	2013-08-06	2013-09-03	1107	14,1	7,0	38,2	536,85	2,062	6258	164,01	28	VIGA
14	2013-08-06	2013-09-03	1114	14,2	7,0	38,3	543,36	2,050	6211	162,32	28	VIGA
15	2013-08-06	2013-09-03	1101	14,1	7,0	37,9	536,42	2,052	6118	161,27	28	VIGA
16	2013-08-06	2013-09-03	1100	14,1	7,0	38,0	536,07	2,052	6309	165,83	28	VIGA

**Tabla 28 Ensayo de compresión de núcleo de extracción diámetro 5.1 cm -
Viga**

Muestra No.	Fecha vaciado	Fecha rotura	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Area Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Edad (Días)	OBSERVACIONES
				Altura (cm)	Diámetro (cm)							
VIGA , EXTRACCION VERTICAL												
17	2013-08-06	2013-09-03	444	10,48	5,1	20,6	215,77	2,057	3830	186,02	28	VIGA
18	2013-08-06	2013-09-03	437	10,43	5,1	20,6	214,74	2,034	3725	180,92	28	VIGA
19	2013-08-06	2013-09-03	444	10,56	5,1	20,4	215,72	2,060	3797	185,87	28	VIGA
20	2013-08-06	2013-09-03	448	10,7	5,2	20,8	222,26	2,016	3821	183,43	28	VIGA
21	2013-08-06	2013-09-03	435	10,5	5,1	20,5	214,31	2,028	3716	181,19	28	VIGA
22	2013-08-06	2013-09-03	439	10,6	5,1	20,7	218,47	2,011	3634	175,82	28	VIGA
23	2013-08-06	2013-09-03	442	10,5	5,1	20,5	215,13	2,056	3694	180,12	28	VIGA
24	2013-08-06	2013-09-03	438	10,5	5,1	20,5	214,72	2,041	3783	184,46	28	VIGA

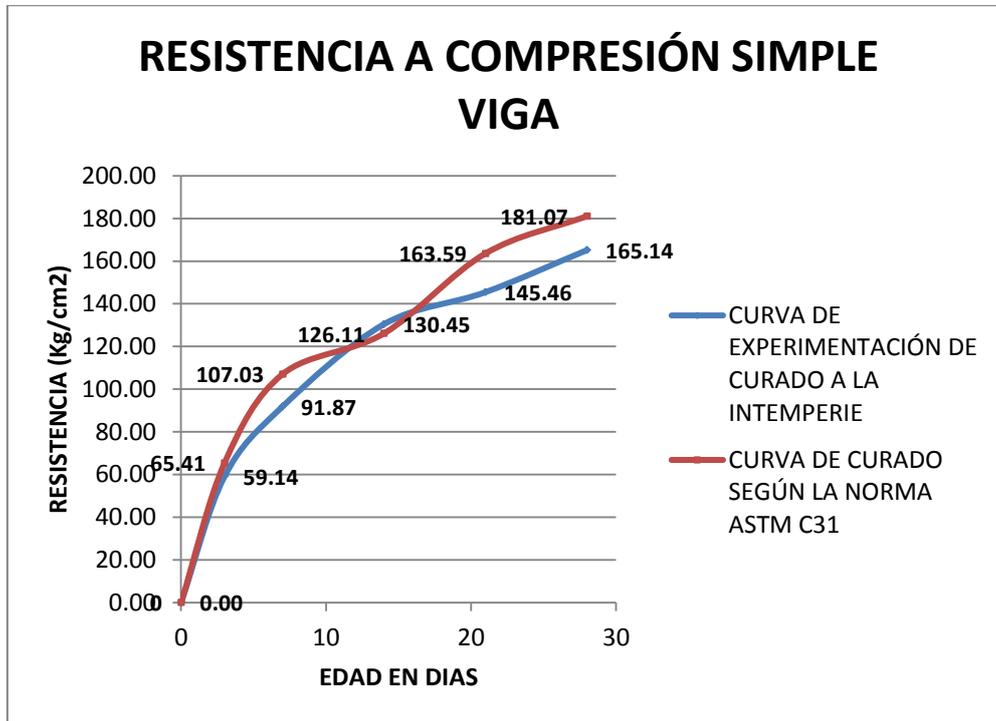
4.2. Gráficos y tablas

Gráfico 1 Ensayo a compresión simple de cilindros de hormigón



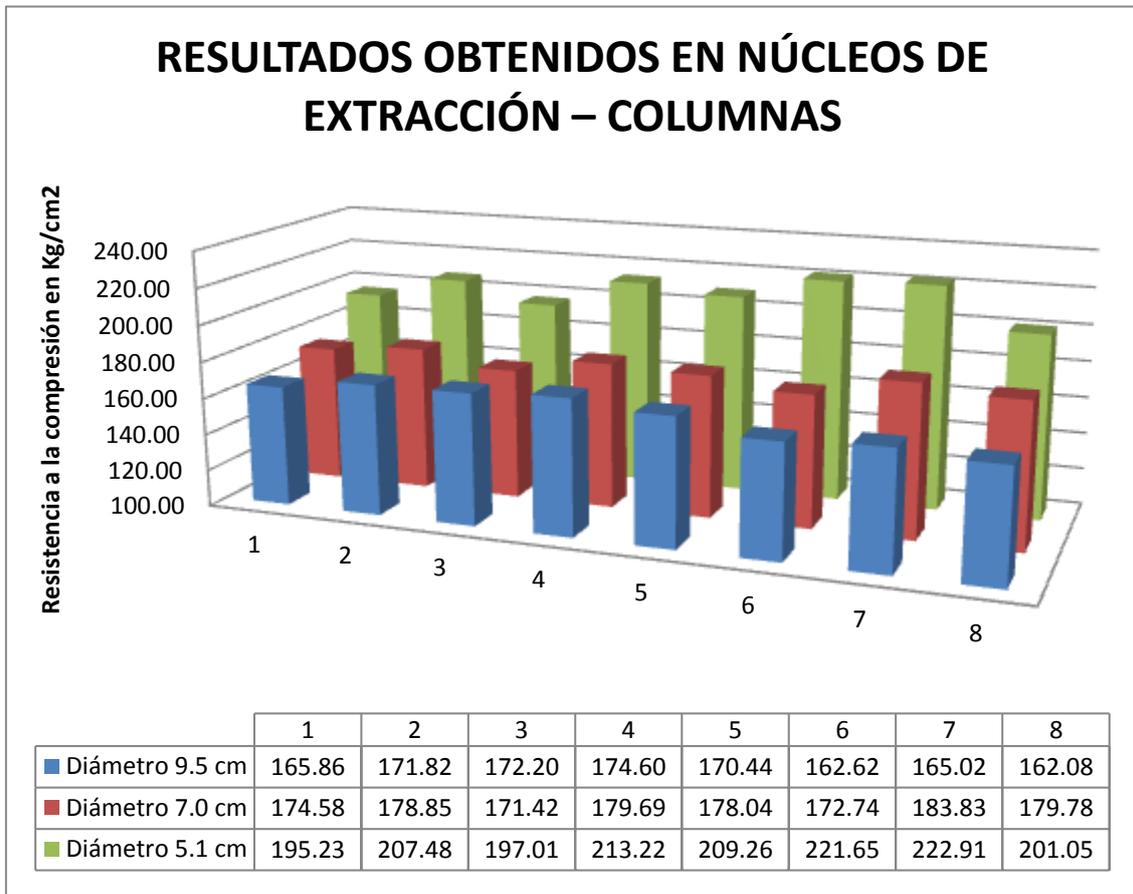
En el gráfico 1 se observa la curva de resistencia a compresión simple en kg/cm² vs la edad en días de los cilindros correspondientes a la mezcla de fundición de la columna, en la cual se puede distinguir la tendencia de resistencia de los cilindros curados a la intemperie y los cilindros curados según la norma ASTM C31, se aprecia que la resistencia de los cilindros a veinte y ocho días curados a la intemperie es de 199.68 kg/cm² y los curados de acuerdo a la norma es de 216.37 kg/cm², cabe recalcar que los cilindros fueron ensayados a los 3, 7, 14, 21, 28 días de edad

Gráfico 2 Ensayo a compresión simple de cilindros de hormigón



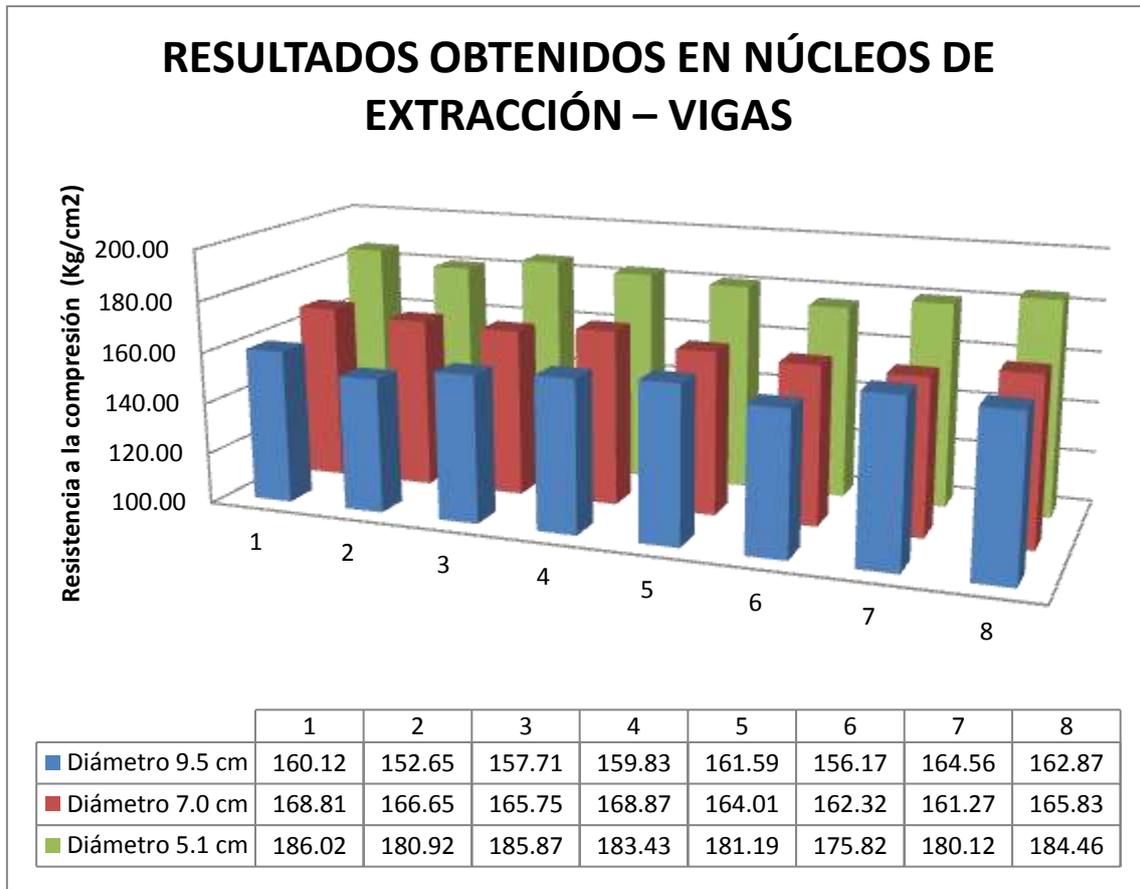
En el gráfico 2 se observa la curva de resistencia a compresión simple en kg/cm² vs la edad en días de los cilindros correspondientes a la mezcla de fundición de la viga, en la cual se puede distinguir la tendencia de resistencia de los cilindros curados a la intemperie y los cilindros curados según la norma ASTM C31, se aprecia que la resistencia de los cilindros a veinte y ocho días curados a la intemperie es de 159.60 kg/cm² y los curados de acuerdo a la norma es de 181.07 kg/cm², cabe recalcar que los cilindros fueron ensayados a los 3, 7, 14, 21, 28 días de edad

**Gráfico 3 Ensayo a compresión simple de núcleos de extracción -
|columna**



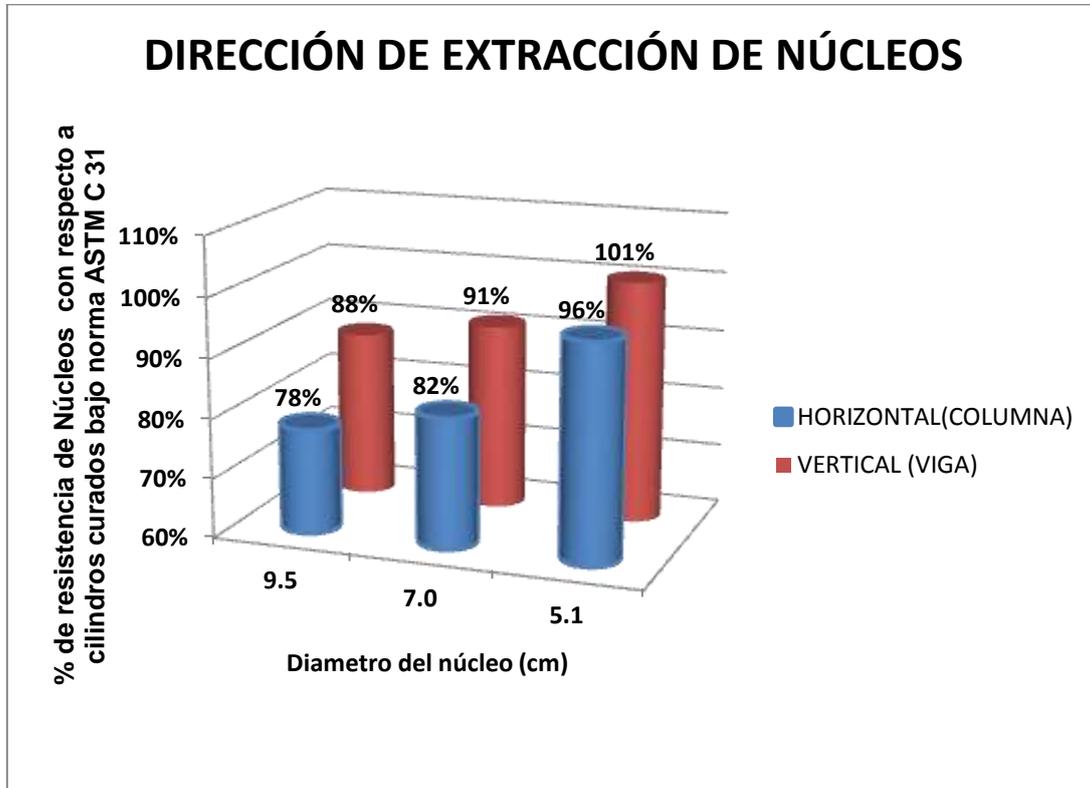
En el gráfico 3 se observa la resistencia a compresión simple en kg/cm² a los 28 días de edad de los núcleos extraídos en la columna, en la cual se puede apreciar que la resistencia aumenta a medida que el diámetro de las muestras disminuyen; diámetro de 9.5 cm 168.08 kg/cm² en promedio, diámetro de 7.0 cm 177.37 kg/cm² en promedio, diámetro de 5.1 cm 208.48 kg/cm² en promedio.

Gráfico 4 Ensayo a compresión simple de núcleos de columna



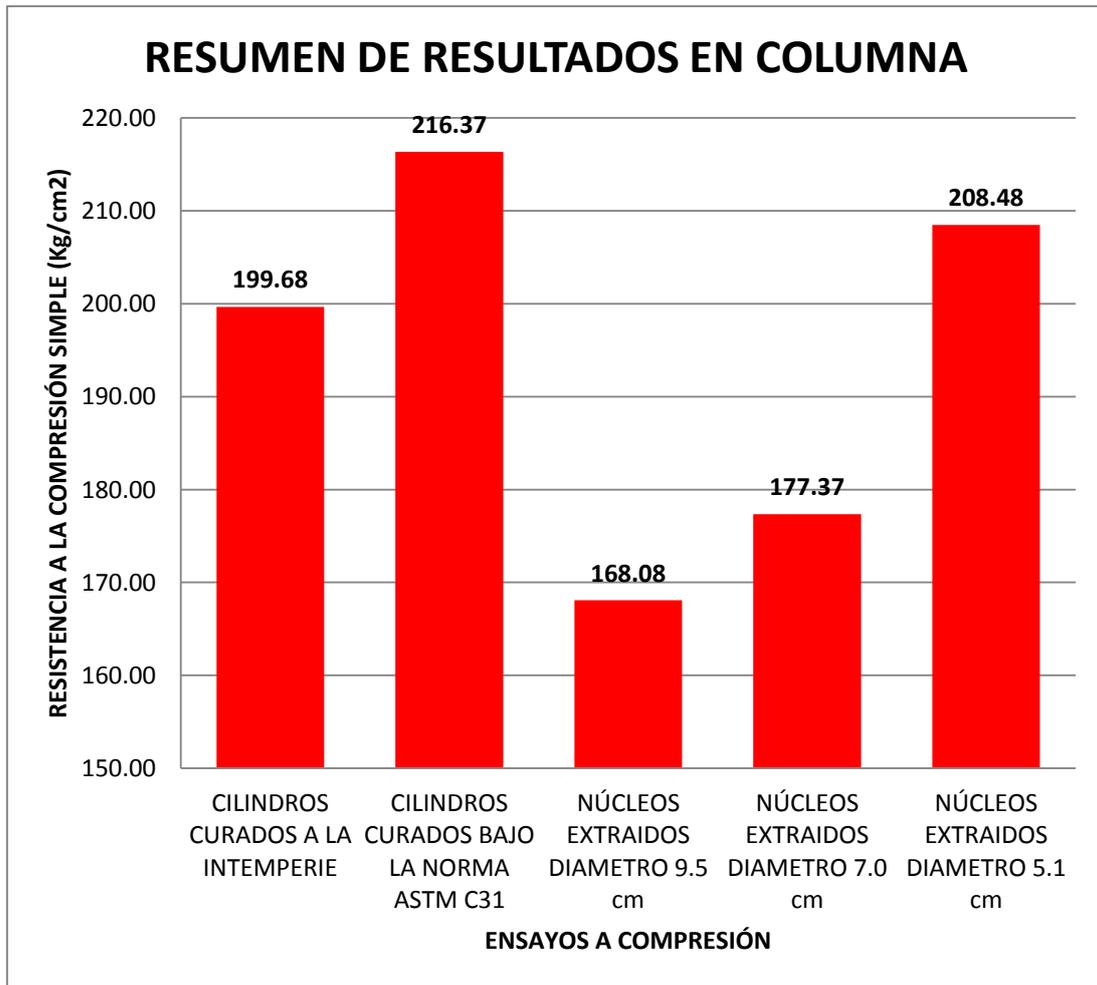
En el gráfico 4 se observa la resistencia a compresión simple en kg/cm² a los 28 días de edad de los núcleos extraídos en la viga, en la cual se puede apreciar que la resistencia aumenta a medida que el diámetro de las muestras disminuyen; diámetro de 9.5 cm 159.44 kg/cm² en promedio, diámetro de 7.0 cm 165.44 kg/cm² en promedio, diámetro de 5.1 cm 182.23 kg/cm² en promedio.

Gráfico 5 Ensayo a compresión simple de núcleos por la dirección de extracción



En el gráfico 5 se presenta los resultados de los ensayos a compresión de los núcleos, tomando en cuenta el sentido de extracción de los núcleos de hormigón en el cual se nota que la extracción en forma vertical en todos los diámetros presenta mayor resistencia a la compresión en sentido horizontal.

Gráfico 6 Ensayo a compresión simple de cilindros y núcleos



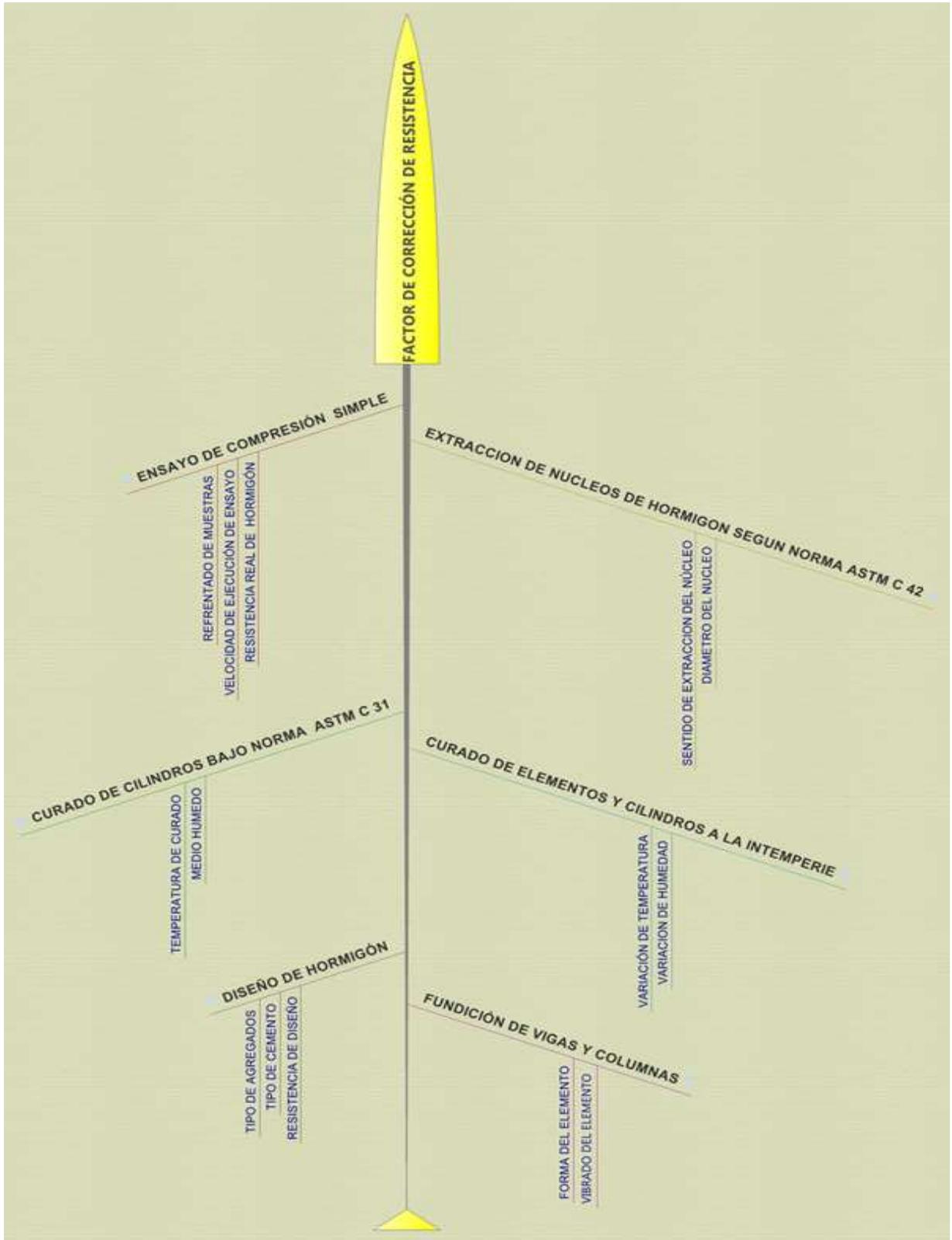
Se presenta a continuación el gráfico 6 de resumen de los cilindros y núcleos ensayados a los 28 días de edad en el cual se nota los valores máximos de resistencia de la columna

Gráfico 7 Ensayo a compresión simple de cilindros y núcleos



Se presenta a continuación el gráfico 7 de resumen de los cilindros y núcleos ensayados a los 28 días de edad en el cual se nota los valores máximos de resistencia de la viga.

Grafico 8 Análisis causa efecto de los valores obtenidos en la investigación



Elaborado por el autor

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De los resultados obtenidos se determinó que la resistencia del hormigón varía dependiendo de los factores atmosféricos, en obra no se puede tener las condiciones de curado de los cilindros de hormigón según la norma ASTM C 31 , tales efectos disminuyen la resistencia del hormigón colocado en obra en comparación con los cilindros curados bajo la norma ASTM C31 en un 8 % en columnas y 9% en vigas para este estudio

- La resistencia de los núcleos se verifica el aumento de la resistencia a medida que el diámetro de los núcleos disminuye; en la investigación se determinó los siguientes valores.

Columna diámetro de 9.5 cm = 168.08 kg/cm²; diámetro 7.0 cm = 177.37 kg/ cm²; diámetro 5.1 cm = 208.48 kg/cm².

Viga diámetro de 9.5 cm = 159.44 kg/cm²; diámetro de 7.0cm = 163.44 kg/ cm²; diámetro 5.1 cm =182.28 kg/cm².

En la investigación de (Rojas Henao, 2012) en el capítulo 2 presenta varios criterios sobre el diámetro de los núcleos y la resistencia los mismos que están en concordancia a los resultados obtenidos en la investigación

- La dirección de extracción de los núcleos determina que existe una tendencia a que la resistencia de núcleos extraídos de forma vertical son mayores que los extraídos en forma horizontal en un 10 % en los núcleos de 9.5 cm de diámetro, 9% en los núcleos de 7.0 cm de diámetro y de 4% en los núcleos de 5.1 cm de diámetro, además se puede notar es que a medida que los diámetros disminuyen la diferencia de resistencia disminuye.
- Se pudo comprobar la reducción de la resistencia de los núcleos extraídos de la columna en comparación con los cilindros curados bajo

la norma ASTM C 31, dando como resultado los siguientes valores: Cilindros curados bajo norma 216,37 kg/cm², diámetro de 9.5 cm = 168.08 kg/cm²; diámetro 7.0 cm = 177.37 kg/cm²; diámetro 5.1 cm = 208.48 kg/cm² cuyo porcentaje de reducción es 22% en los núcleos de diámetro de 9.5 cm, 18% en núcleos de diámetro 7.0 cm y 3% en los núcleos 5.1 cm .

- En la viga también se nota la reducción de la resistencia en los núcleos extraídos comparados con los cilindros curados bajo la norma ASTM C31 181,07 kg/cm² en los núcleos de diámetro 9.5 cm y 7.0 cm existe tal reducción 9.5 cm = 159.44 kg/cm²; diámetro 7.0 cm = 165.44kg/cm²; diámetro 5.1 cm = 182.23 kg/cm² cuyo porcentaje de reducción es 12% en los núcleos de diámetro de 9.5 cm, 9% en núcleos de diámetro 7.0 cm a diferencia de diámetro 5.1 cm que la resistencia es mayor en 1% esto debido a dos factores importantes el primero el diámetro pequeño del cilindro y el segundo es la forma geométrica de la viga.
- De todos los parámetros estudiados, se puede afirmar que existe una disminución de la resistencia de los núcleos extraídos los mismos que no se puede cuantificar de forma general ya que el estudio se centra en una sola resistencia y un determinado tipo de material y sería apresurado un criterio para generalizar estos resultados.
- Los ángulos de falla de los cilindros fueron variables debido al refrentado no adherido ya que se utilizó placas de neopreno con dureza short 60 para sus roturas dando unos cilindros con fallas Tipo 3 verticales columnares con conos no muy definidos y parte de los cilindros se observó fallas Tipo 5 que son las fracturas en los lados sea en la parte superior o inferior del cilindro

5.2. Recomendaciones

- Debido a la restricción de la investigación se deberá realizar la caracterización de los diferentes agregados de la zona para poder determinar los factores de reducción si los hubiera
- Se recomienda realizar el estudio en hormigones de alta resistencia ($f_c > 400 \text{ kg/cm}^2$) debido a que el porcentaje de reducción puede disminuir.
- Para determinar las características del hormigón en la estructura mediante la extracción de núcleos se debe considerar el cálculo del módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson ya que puede verse afectado por el proceso de extracción.
- Se debe tomar en cuenta el método de refrentado de los cilindros ya que este puede ser determinante en la obtención de la resistencia a la compresión.
- También se debe recalcar que los ensayos deben ser realizados estrictamente bajo los parámetros descritos en las normas sin descuidar las medidas de protección personal y el equipo necesario para disminuir el peligro de daños a la salud del o de los investigadores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica.* (2007). Recuperado el 23 de 06 de 2013, de Universidad Politecnica de Cartagena:
http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf
- Carrasco, I. M. (2009). *Tecnología del hormigón* (Primera Edición ed.). Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe.
- Carrasco, I. M. (03 de 2009). *Unidad 4 Agua para morteros y hormigones.* Recuperado el 19 de 08 de 2013, de
http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=170&id_apunte=2239.
- Curado del Hormigón-ICPA.* (s.f.). Recuperado el 23 de 06 de 2013, de
http://www.icpa.org.ar/publico/files/curado_del_hormigon.pdf
- IMCYC, I. M. (2008). Recuperado el 25 de 10 de 2013, de
<http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>
- Incapie , Á. M., & Valencia , J. V. (2003). *Universidad EAFIT*, 39(131), 87-95.
- Instituto Nacional de Vías Colombia INV E – 41-07, 2. (s.f.). Toma de Núcleos y Vigas en Hormigóns Endurecidos.
- Kosmatka, S. K. (2004). *Diseño Y Control De Mezclas De Hormigón.*, (P. CementAssociation., Ed.) Illimois, EEUU.
- Lafarge. (2012). *Curado del Hormigón- Lafarge.* Recuperado el 23 de 06 de 2013, de <http://www.lafarge.com.ec/Curado%20Del%20Hormigon.pdf>
- Moreira de Souza Vicente Custódio, T. R. (abril/2009). *PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE HORMIGÓN* (1a edição, 5a tiragem ed.).
- Norma Técnica Coguanor NTG41049, 2. (2005). Coguanor NTG 41049, Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de hormigón. Guatemala.
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 151, 2. (2010). Cemento Hidráulico. Definición de Términos.
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1762, 1. (1990). Hormigones. Definiciones y Terminología.

- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2650, 2. (2012). Hormigón de cemento hidráulico. Utilización del sistema de refrentado no adherido en la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón endurecido.
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN1573, 2. (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2. (2010). Hormigón y Áridos Para Elaborar Hormigón. Terminología. *Norma técnica*.
- Rivera, I. G. (2009). *1- Materiales Coglomerantes*. Recuperado el 16 de 08 de 2013, de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Hormigón%20-%20-%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2001%20-%20Materiales%20conglomerantes.pdf>
- Rojas Henao, L. M. (2012). Ensayos de información y extracción de probetas testigos de hormigones autocompactantes (Tesis doctoral). Madrid, España.
- ROMO, M. (2006). *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO*. SANGOLQUI: ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del hormigón y del mortero* (5 Edición ed.). Santafé de Bogotá D.C- Colombia: Bradar Editores Ltda.
- Staff Hormigonar, N. (Noviembre de 2003). *Pepe hormigon final 2 - Asociacion Argentina del hormigón*. Recuperado el 15 de 06 de 2013, de Revista Hormigonar Sumario No.1: <http://www.hormigonelaborado.com/hormigonar1.pdf>

Anexos

Dosificación de hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACIONES PARA HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND METODO ACI 211

Fecha: 22/07/2013		Fuente Agregados: PINTAG	
PROYECTO:		TESIS	
Cliente: JUAN HARO		ORDEN NO.	
Fiscalizador:			
TIPO	DISPERSION		CONSISTENCIA
BOMBEABLE 1,00 SI	std 40,00	kg/cm2	ASENTAMIENTO 1,00 3-5cm.
	Curvas de f'c vs relacion a/c		
	ACI 1,00		2,00 8-10cm
	TIPO I 2,00		
FACTOR B 1,00	ESPECIAL 3,00		3,00 15-18cm
OPCION: 2,00	OPCION: 1,00		OPCION No: 2,00
PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS			PROCEDENCIA AGREGADOS
	RIPIO	ARENA	CEMENTO
Ge			3,15
PUC (Kg/m³)	1378		
PUS(kg/m³)	1266		
T máx (pulg)	1,0		
Mf		2,7	
%Ab	2,7	3,6	
%Hn	2,4	3,4	
Dsss (kg/m³)	2397	2462	
PUS(kg/m³)	1266	1305	
REQUERIMIENTO	kg/cm2		a/c
f'c: 210,00	f'cdis: 264		kg/cm2 0,59
1,00			
RESULTADOS DOSIFICACION EN PESO			
	VOL SSS	PESO SSS	PESO SECO
AGUA	51,7 gal.	51,7 gal.	67,4 gal.
CEMENTO	6,5 sacos	323,5 kg.	323,5 kg.
ARENA	0,4 m³	990,8 kg.	956,7 kg.
RIPIO	0,4 m³	957,1 kg.	931,9 kg.
TOTAL	1,10 m³	2.467,14	2.467,14
DOSIFICACION EN VOLUMEN		DOSIFICACION EN PROPORCION	
AGUA	52,86 gal.	8,17 gal.	8,17 gal.
CEMENTO	6,47 sacos	1,00 sacos	1,0 sacos
ARENA	0,76 m3	0,12 m3	3,3 parigueltas
RIPIO	0,75 m3	0,12 m3	3,2 parigueltas
Calculado por		PARIGUELAS DE :	0,33 largo
Juan Haro			0,33 ancho
			0,33 alto
			0,04 m3
			4 CILINDROS

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
CUADRO RESUMEN**

FUENTE MATERIAL: PINTAG
FECHA: 22/07/2013

SITIO: TESIS

CLIENTE: JUAN HARO
FISCALIZADOR: 0,00

		Agregados	
		Grueso	Fino
PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	Kg/m³	2492	2598
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	Kg/m³	2397	2462
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	Kg/m³	2334	2377
ABSORCIÓN DE AGUA	%	2,7	3,6
MODULO DE FINURA			2,7
HUMEDAD NATURAL	%	3,4	2,41
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1	
PESO VOL. SUELTO	Kg/m³	1266	1305
PESO VOL. COMPACTO	Kg/m³	1378	1561

OBSERVACIONES

ENSAYÓ: Juan Haro	CALCULÓ: Juan Haro	VERIFICÓ
-----------------------------	------------------------------	-----------------

DETERMINACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS
Y ABSORCIÓN DE AGUA DEL AGREGADO FINO

FECHA:	PINTAG	PROCESO NO.
2013-07-22	ARENA CANTERA	

PROYECTO: TESIS

SOLICITA: JUAN HARO
FIZCALIZADOR 0,00

Muestra No..... 1

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500	
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	482,8	
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	663,8	
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm3)	960,8	
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO		1	
(C/C+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm3)	2,598	
(A/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm3)	2,462	
(C/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm3)	2,377	
(A-C/C)*100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	3,6	

OBSERVACIONE Temperatura ensayo = 20°C.

ENSAYÓ: Juan Haro	CALCULÓ: Juan Haro	VERIFICÓ
----------------------	-----------------------	----------

**DETERMINACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS
Y ABSORCIÓN DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO**

FECHA: 2013-07-22	PINTAG AGREGADO GUESO	PROCESO NO. 1
-----------------------------	---------------------------------	----------------------

PROYECTO: TESIS

SOLICITA: JUAN HARO

FIZCALIZADOR 0

Muestra No..... 1

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	1044,1	
B	PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	(g)	608,6	
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	1016,6	
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm3)	1	
(C/C-B)*γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm3)	2,492	
(A/A-B)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm3)	2,397	
(C/A-B)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm3)	2,334	
(A-C/C)*100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	2,7	

OBSERVACIONE: Temperatura ensayo = 20°C.

ENSAYÓ: Juan Haro	CALCULÓ: Juan Haro	VERIFICÓ
-----------------------------	------------------------------	-----------------

CONTENIDO DE HUMEDAD				
FECHA	22/07/2013			
PROYECTO:	TESIS			
SOLICITA	JUAN HARO			
MUESTRA	FINO		GRUESOS	
RECIPIENTE	E42	SI	YS	69
PESO DEL RECIPIENTE (g)	123,40	121,10	39,60	50,60
PESO DEL RECIPIENTE + MUES	176,20	189,70	208,80	248,40
PESO DEL RECIPIENTE + MUES	174,50	187,40	204,50	244,10
PESO DEL AGUA (g)	1,70	2,30	4,30	4,30
PESO SECO (g)	51,10	66,30	164,90	193,50
% AGUA	3,33	3,47	2,61	2,22
% AGUA PROMEDIO	3,40		2,41	
OBSERVACIONES				
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ	
Juan Haro	Juan Haro			

DETERMINACION DE DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA ARENA

FECHA:	PINTAG	PROCESO NO.
2013-07-22	AGREGADO GUESO	

PROYECTO: TESIS
SOLICITA: JUAN HARO
FIZCALIZADOI0

DENSIDAD SUELTA DE GRAVA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2106,8	2106,8
Peso molde +suelo (g)	11392,6	11328,4
Peso suelo (g)	9285,8	9221,6
Volumen (cm3)	7310	7310
Densidad suelta (g/cm3)	1,270	1,262
Media (g/cm3)	1,266	

DENSIDAD VARILLADA DE GRAVA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2106,8	2106,8
Peso molde +suelo (g)	12184,1	12170,3
Peso suelo (g)	10077,3	10063,5
Volumen (cm3)	7310	7310
Densidad suelta (g/cm3)	1,379	1,377
Media (g/cm3)	1,378	

OBSERVACIONES _____

ENSAYÓ: Juan Haro	CALCULÓ: Juan Haro	VERIFICÓ
----------------------	-----------------------	----------

DETRMINACION DE DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA ARENA

FECHA:	PINTAG	PROCESO NO.
2013-07-22	ARENA CANTERA	

PROYECTO: TESIS

SOLICITA: JUAN HARO

FIZCALIZADOF 0

DENSIDAD SUELTA DE ARENA

Molde No.		
Peso molde (g)	2667,5	2667,5
Peso molde +suelo (g)	6329,1	6345,3
Peso suelo (g)	3661,6	3677,8
Volumen (cm3)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm3)	1,302	1,307
Media	1,305	

DENSIDAD VARILLADA DE ARENA

Molde No.		
Peso del molde (g)	2667,5	2667,5
Peso molde +suelo (g)	7024,8	7094,1
Peso suelo (g)	4357,3	4426,6
Volumen (cm3)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm3)	1,549	1,574
Media	1,561	

OBSERVACIONES _____

ENSAYÓ: Juan Haro	CALCULÓ: Juan Haro	VERIFICÓ
----------------------	-----------------------	----------

ANALISIS GRANULOMETRICO				
2013-07-22	PINTAG	PROCESO No. 001		
PROYECTO:		TESIS		
SOLICITA:		JUAN HARO		
FIZCALIZADOR		0		
MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO 1 "				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	0,00	0,00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	1154,60	1154,60	15	85
1/2" (12,5mm)	2109,80	3264,40	41	59
3/8 " (9,51 mm)	1579,80	4844,20	61	39
No. 4 (4,76 mm)	2666,00	7510,20	95	5
No. 8 (2.36 mm)	168,20	7678,40	97	3
Pas No. 8	200,00	7878,40		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)			7879,5	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			1 pulg	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMÉTRICA GRUESO</p> </div>				
ENSAYÓ:	CALCULÓ:		VERIFICÓ	
Juan Haro	Juan Haro			

ANALISIS GRANULOMETRICO				
2013-07-22	PINTAG	PROCESO No. 001		
PROYECTO:		TESIS		
SOLICITA:		JUAN HARO		
FIZCALIZADOR		-		
MUESTRA No. MUESTRA ARENA LAVADA				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9,5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	30	30	6	94
No. 8 (2,36 mm)	55	85	17	83
No. 16(1,18 mm)	120	205	40	60
No. 30(0,6 mm)	85,3	290,3	57	43
No. 50(0,30mm)	77,7	368	72	28
No. 100(0,15 mm)	53,7	421,7	82	18
PasNo 100	90	511,7		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)			416,2	
MODULO DE FINURA			2,7	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMÉTRICA FINO</p> <p style="text-align: center;"> ◆ CURVA — MAXIMO — MINIMO </p> </div>				
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ		
Juan Haro	Juan Haro			

Calibración de equipo

 <p>NÚMERO DE CERTIFICADO CF - 529</p> <p>FECHA DE CALIBRACIÓN 2012 06 21 AÑO MES DÍA</p> <p>ISO/IEC 17025:2005 10-LAB-027</p> <p>METROTEST Laboratorio de Metrología</p>	<h3>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</h3> <p>Certificate of Calibration</p> <p>ISO/IEC 17025:2005 10-LAB-027</p> <p>NUMERO : CF-529 Number PÁGINAS : 1 de 6 Pages FECHA DE EXPEDICIÓN: 2012-06-29 Date of issue</p>
<p>INSTRUMENTO: <i>Instrument</i></p>	<p>MÁQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN</p>
<p>FABRICANTE: <i>Manufacturer</i></p>	<p>CONTROLS</p>
<p>MODELO: <i>Model</i></p>	<p>C 43G4</p>
<p>NÚMERO DE SERIE: <i>Serial Number</i></p>	<p>04031560</p>
<p>RANGO DE MEDICIÓN: <i>Measurement Range</i></p>	<p>100 kN - 1000 kN (Capacidad Máxima 2000 kN)</p>
<p>SOLICITANTE: <i>Customer</i></p>	<p>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO (ESPE)</p>
<p>DIRECCIÓN/CIUDAD: <i>Address</i></p>	<p>Av. General Rumiñahui s/n Sangolquí - Ecuador.</p>
<p>FECHA DE CALIBRACIÓN: <i>Date of calibration</i></p>	<p>21 de Junio de 2012</p>

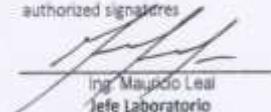
NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: Sels (6)
Number of pages of this certificate and Documents Attached

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing laboratory assumes no responsibility for damaged resulting of mis use of the calibrated instruments.

El presente informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita por parte de METROTEST LTDA.
This report may not be partially or totally reproduced without the written approval of METROTEST LTDA.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.
The user is responsible for having the apparatus calibrated at appropriate intervals.

FIRMAS AUTORIZADAS :
authorized signatories

 <p>Ing. Maupdo Leal Jefe Laboratorio Calibrado por - Calibrated By</p>	 <p>Ing. LINA MARIA RODRIGUEZ OVIEDA Gerente de Calidad Aprobado por - Approved By</p>
--	--

FT 012 Revisión 04
Carrera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestltda.com



METROTEST
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Certificate of Calibration



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
19-LAC-027

NUMERO : CF-529

Number

PÁGINAS : 2 de 6

Pages

METODO DE MEDICION: <i>Method of measurement</i>	Fuerza Indicada Constante
NORMA TÉCNICA: <i>Standard</i>	NTC/ISO 7500-1: 2007-07-25
DIRECCIÓN DE LA CARGA: <i>Calibration Direction</i>	Compresión
INTERVALO CALIBRADO: <i>calibration interval</i>	100 kN a 900 kN
DIVISIÓN DE ESCALA: <i>Scale division</i>	0,1 kN
RESOLUCIÓN (r): <i>Resolution</i>	0,3 kN
UNIDAD DE MEDIDA: <i>units of measurement</i>	SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)
INDICADOR DE FUERZA: <i>Force Indicator</i>	Digital
FABRICANTE: <i>Manufacturer</i>	Controls
MODELO: <i>Model</i>	Q 0802 / B
NÚMERO DE SERIE: <i>Serial Number</i>	04031560

Carrera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestfda.com

FT 013 Revisión 04



METROTEST
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Certificate of Calibration



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
19-LAC-027

NUMERO : CF-529

Number

PÁGINAS : 3 de 6

DATOS DE CALIBRACIÓN:

Escala: 2000 kN

División de escala: 0,1 kN

Resolución r: 0,3 kN

Dirección de Carga: Compresión

Fuerza Indicada (kN)	LECTURAS EN mV/V DEL INSTRUMENTO PATRÓN					
	L1	L2	L2'	L3	L4	PROMEDIO
100,0	0,20140	0,20172		0,19999		0,20104
200,0	0,39654	0,39678		0,39675		0,39669
300,0	0,59572	0,59347		0,59133		0,59351
400,0	0,78869	0,78940		0,79507		0,79105
500,0	0,99825	0,99855		0,99759		0,99813
600,0	1,19704	1,19166		1,19472		1,19447
700,0	1,39416	1,39348		1,39336		1,39367
800,0	1,59786	1,60041		1,59262		1,59696
900,0	1,79235	1,79332		1,78901		1,79156

INDICACIÓN RESIDUAL		0,2		0,1	
---------------------	--	-----	--	-----	--

Método de Calibración: Fuerza Indicada Constante

Tipo de indicación: Digital

Observaciones :

DUREZA DE PLATOS (HRB)	
Superior:	53,7
Inferior:	26,9

Planitud (mm)
0,05

Carrera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestitda.com

FT 013 Revisión 04



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
10-LAC-027

NUMERO : CF-529

Number

PÁGINAS : 4 de 6

Pages

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de Carga:		Compresión					Límite Inferior de la Escala del Instrumento:		60,00	kN		
Tipo de Indicación:		Digital					Resolución (r):		0,3000	kN		
Indicación del Instrumento Patrón kN							Errores Encontrado %					
Indicación del Instrumento a Calibrar	L1	L2	L3	L4	L5	Promedio	Resolución Relativa	Repetibilidad	Exactitud	Acorrosivos	Reversibilidad	Incertidumbre Expandida
100,00	101,38	101,54	100,67			101,20	0,300	0,861	1,199			0,570
200,00	199,65	199,77	199,76			199,73	0,150	0,061	-0,137			0,165
300,00	299,95	298,81	297,73			298,83	0,100	0,740	-0,390			0,452
400,00	397,11	397,47	400,32			398,30	0,075	0,807	-0,426			0,530
500,00	502,62	502,77	502,29			502,56	0,060	0,096	0,512			0,150
600,00	602,72	600,01	601,55			601,42	0,050	0,430	0,237			0,295
700,00	701,98	701,63	701,57			701,73	0,045	0,057	0,247			0,142
800,00	804,56	805,84	801,92			804,11	0,038	0,488	0,513			0,318
900,00	902,51	905,00	900,83			902,12	0,033	0,241	0,235			0,200

Indicación Residual de la Máquina de Ensayo	L1	L2	L3	L4
	0,000	-0,200	-0,100	0,000

MÁXIMOS ERRORES ENCONTRADOS :

	Resolución Relativa	Repetibilidad (%)	Exactitud (q)	Acorrosivos	Reversibilidad (v)	Cero
Máximos Errores Encontrados (%)	0,30	0,86	1,20	No se determino	No se Determino	0,00
Norma Técnica Colombiana NTC 7500-1 Primera actualización 2007-07-25 Numeral:	6.2.1	6.5.2	6.5.1	6.4.6	6.4.8	6.5.2

REGISTRO DE TEMPERATURA AMBIENTE DURANTE LA CALIBRACIÓN :

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
T ₀ °C	19,0	18,8	18,8	
T _f °C	18,8	18,6	18,8	

Carrera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestfda.com

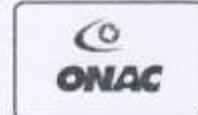
FT 013 Revisión 04



METROTEST
laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration



ACREDITADO (BOARC 17526/2008
18-LAC-027)

NUMERO : CF-529

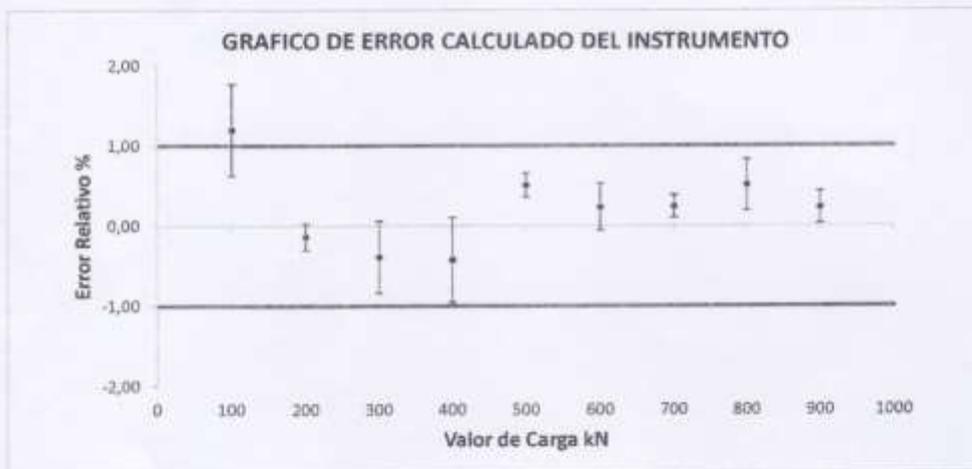
Number

PÁGINAS : 5 de 6

Pages

VALORES CARACTERISTICOS DEL SISTEMA DE MEDIDA DE FUERZA					
Clase de la Escala de la Máquina	Valor Máximo Permitido %				
	Precisión $\pm (q)$	Repetibilidad (b)	Reversibilidad $\pm (v)$	Cero $\pm (fo)$	Resolución Relativa (a)
0,5	0,5	0,5	0,75	0,05	0,25
1	1,0	1,0	1,5	0,1	0,5
2	2,0	2,0	3,0	0,2	1,0
3	3,0	3,0	4,5	0,3	1,5

Tabla 2 : NTC ISO 7500-1:2007-07-25



INCERTIDUMBRE DE MEDICION:

La incertidumbre expandida se estima con un nivel de confianza del 95,4%, con un factor de cobertura indicado a continuación:

Carga kN	100,00	200,00	300,00	400,00	500,00	600,00	700,00	800,00	900,00
Incetidumbre %	0,570	0,165	0,452	0,530	0,150	0,295	0,142	0,318	0,200
Factor k:	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

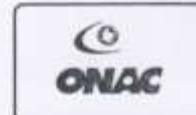
FT 013 Revisión 04

Camera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestitda.com



METROTEST
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Certificate of Calibration



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
10-LAC-027

NUMERO : CF-529

Number

PÁGINAS : 6 de 6

Pages

TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN:

Dispositivo Patrón utilizado:	Transductor de Fuerza
Capacidad:	1000 kN
Incertidumbre Declarada:	$\pm 0,122 \%$
Fecha de Calibración:	2011-09-03
Documento No.:	CNM-CC-720-333/2011
Entidad que Calibra:	CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA DE MÉXICO (CENAM).

OBSERVACIONES

1. De acuerdo con los resultados anteriores se anexa el sello: **CF-529**
2. Si el instrumento de ensayo es reubicado, deberá ser repetida la calibración en el sitio.
Es responsabilidad del usuario solicitar la nueva calibración del equipo.
3. La máquina de ensayo debe ser calibrada inmediatamente después de cualquier reparación del sistema eléctrico o mecánico ya que esto afectará la operación del sistema de medida.
4. METROTEST LTDA. puede abstenerse de expedir un certificado cuando por características técnicas considere que el equipo no es apto para el trabajo y entregará en este caso un informe explicando los motivos.

Carrera 70C # 51 - 69 / Telefax: 7021418 - 4103595 / Bogotá, Colombia
E-mail: metrotest@metrotestltda.com

FT 013 Revisión 04

Fotografías



Granulometría agregado fino



Granulometría de agregado grueso



Comprobación de estado saturado superficie seca (SSS)



Peso específico agregado fino



Estado de saturado superficie seca



Peso específico agregado grueso



Peso unitario grueso



Peso unitario fino



Nivelación de encofrados



Mezcla lista para fundir



Vibrado de hormigón



Cilindros de hormigón terminados



Extracción de núcleos en columna



Extracción de núcleos en Viga



Compresión de cilindros



Compresión de núcleos