



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA  
A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2  
PULGADAS, ACERO DE  $\frac{1}{4}$  Y  $\frac{1}{2}$  PULGADAS CON TAMAÑO MÁXIMO DE  
AGREGADO DE  $\frac{3}{8}$  DE PULGADA.**

Oscar Quinto Mayén

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes

Guatemala, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE  $\frac{1}{4}$  Y  $\frac{1}{2}$  PULGADAS CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO DE  $\frac{3}{8}$  DE PULGADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:

**OSCAR QUINTO MAYÉN**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO ECUTÉ BANTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz De León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA a. i.	Inga. Mayra Grisela Corado García

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podzueck
EXAMINADOR	Ing. Irvin Benjamín Martínez Quevedo
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Orlando Antonio Herrarte Carranza
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE  $\frac{1}{4}$  Y  $\frac{1}{2}$  PULGADAS CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO DE  $\frac{3}{8}$  DE PULGADA,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2006.



Oscar Quinto Mayén

Guatemala, 20 de noviembre del 2009.

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de Escuela de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

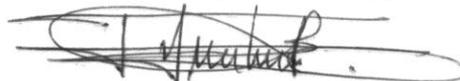
Señor Director,

Al saludarle cordialmente, me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: " **EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE NUCLEOS DE CONCRETO DE DIAMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE ¼ Y ½ PULGADAS CON TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO DE 3/8 DE PULGADA** " elaborado por el estudiante Oscar Quinto Mayén, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo, por lo que recomiendo se apruebe en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables de lo tratado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,

FRANCISCO JAVIER ECUTE BANTES  
Ingeniero Civil Col. No. 6442  
Colegio de Ingenieros de Guatemala



Francisco Javier Ecuté Bantes  
Ingeniero Civil  
Colegiado N° 6,442



Guatemala,  
9 de marzo de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

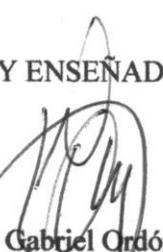
Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE ¼ Y ½ PULGADAS CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO DE ¾ DE PULGADA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Oscar Quinto Mayén, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Quinto Mayén, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles

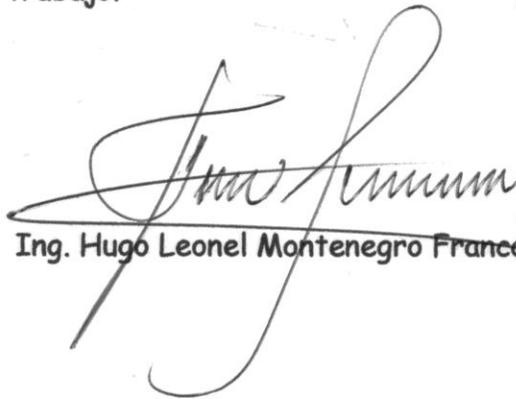


FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Oscar Quinto Mayén, titulado EFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE  $\frac{1}{4}$  Y  $\frac{1}{2}$  PULGADAS CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO DE  $\frac{3}{8}$  DE PULGADA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



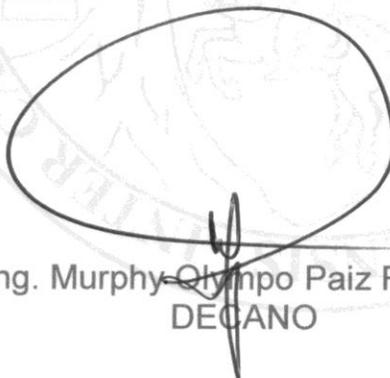
Guatemala, julio de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EFFECTO DEL REFUERZO HORIZONTAL EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO DE DIÁMETRO DE 2 PULGADAS, ACERO DE  $\frac{1}{4}$  Y  $\frac{1}{2}$  PULGADAS, CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO DE  $\frac{3}{8}$  DE PULGADA,** presentado por el estudiante universitario **Oscar Quinto Mayén,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, julio de 2010



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**DIOS:** Por alcanzar otra meta en mi vida, todo honor y gloria es para Ti Señor.

**MIS PADRES:** Por todo su esfuerzo y apoyo a lo largo de mi vida.

**MI ASESOR:** Por toda la ayuda prestada para la elaboración del presente trabajo de graduación.

**CEMENTOS PROGRESO:** En especial a los profesionales;  
Licda. Mariela del Carmen Ramírez de Rodas,  
Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas,  
Ing. Mario Norberto De León Manrique.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**MI MADRE:** María Bertha Mayén de Quinto, porque tu amor, esfuerzo y dedicación son un ejemplo en mi vida.

**MI PADRE:** Oscar Quinto Wong, (+) en homenaje y agradecimiento a su amor, esfuerzo y guía.

**MI ESPOSA:** Bertha Roxanda Molina de Quinto, por su amor, comprensión y apoyo a lo largo de nuestro matrimonio.

**MI HIJA:** Paula Cristina Quinto Molina, mi vida y lo que soy por ti.

**MIS HERMANOS:** Roberto

Aura Estela (+)

Carlos (+)

Guillermo

Thelma Irene

**MIS SOBRINOS:** Oscar Bianco

Melissa

Anna Isabel

Carlos Andrés

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XIII</b>
<b>NORMAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXV</b>
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ejemplos de construcciones mal realizadas.....	3
1.2. Ensayos para determinar causas de fisuras o agrietamientos.....	8
<b>2. ENSAYOS QUE DEBERÍAN REALIZARSE PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN PARA EVITARSE PROBLEMAS DE FISURAMIENTOS O AGRIETAMIENTOS.....</b>	<b>13</b>
2.1. Ensayos de los agregados.....	13
2.1.1. Agregado fino y grueso .....	13
2.1.2. Diseño teórico de mezcla de concreto.....	19
2.1.3. Ensayo de varillas de acero .....	20
2.1.4. Ensayo de estudio de suelos.....	22
2.1.5. Ensayo de mampostería.....	23
2.1.6. Ensayos de mezclas de levantado y recubrimiento .....	24
<b>3. DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLAS DE CONCRETO .....</b>	<b>29</b>
<b>4. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....</b>	<b>43</b>

4.1.	Práctica normalizada para el muestreo del concreto recién mezclado, según norma ASTM C-172 .....	43
4.2.	Práctica de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado, según norma ASTM C-1064 .....	44
4.3.	Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento del concreto elaborado con cemento hidráulico, según norma ASTM C-143 .....	45
4.4.	Método de ensayo estándar para determinar por medio del método gravimétrico el peso unitario, volumen producido y contenido de aire del concreto, según norma ASTM C-138.....	48
4.5.	Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión según norma ASTM C-231 .....	49
4.6.	Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de pruebas para concreto, según norma ASTM C-31 .....	53
<b>5.</b>	<b>EXTRACCIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO .....</b>	<b>57</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>69</b>
6.1.	Diseño para la elaboración de los núcleos de concreto .....	69
6.2.	Elaboración de piezas de moldes para los núcleos de concreto, según sus posiciones.....	70
6.3.	Análisis físicos de los agregados utilizados para realizar la mezcla de concreto .....	71
6.4.	Diseño teórico de mezclas de concreto.....	73

6.5.	Elaboración de mezcla y núcleos de concreto .....	74
6.6.	Preparación y ensayos de núcleos de concreto .....	77
6.7.	Resultados de ensayos a compresión .....	79
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>97</b>
	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>107</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Falla de una viga debido a reacciones químicas internas en el concreto y del acero.....3
2. Grieta en muro o pared de una edificación, causada por la mala distribución de las columnas.....4
3. Defecto constructivo, la no linealidad del acero de refuerzo, perjudicando en la transmisión de cargas o el verdadero funcionamiento de los elementos estructurales que es distribuir uniformemente las cargas para efectivamente absorber y mantener en pie el elemento estructural.....5
4. El desconocimiento de cómo interactúan las cargas en los empalmes o uniones entre elementos estructurales hace cometer este tipo de errores como el de no proporcionar la longitud adecuada del acero.....6
5. Fisuras o grietas causadas por no colocar soleras o vigas uniendo elementos estructurales.....7
6. Utilización del covermeter para ubicación del acero estructural.....9
7. Obtención de una varilla de acero de algún elemento estructural representativo de la edificación para comprobar el grado o resistencia correspondiente.....9

8. Muestra inalterada del lugar envuelta en parafina para evitar la pérdida de las propiedades físico mecánicas del suelo bajo la estructura a nivel de la zapata de mayor profundidad.....	10
9. Ensayo de resistencia a compresión confinada por medio del ensayo triaxial.....	11
10.Extracción de núcleos de concreto.....	11
11.Núcleo extraído.....	12
12.Núcleo cabeceado con tapas de azufre.....	12
13.Muestras de agregados para determinación de densidad relativa y humedad de absorción.....	15
14.Cono metálico para determinar el estado seco de los agregados.....	15
15.Colorímetro para determinar el contenido de materia orgánica.....	16
16.Posiciones del acero en los testigos de concreto.....	69
17.Moldes de plástico con las varillas de acero incrustadas.....	70
18.Nueve posiciones trabajadas con acero incrustado de ½ pulgada, además de los seis moldes patrón.....	71

<b>19.</b> Determinación del contenido de aire en la mezcla de concreto, según norma ASTM C – 231 .....	74
<b>20.</b> Determinación de la consistencia (fluidez) del concreto según norma ASTM C – 143.....	75
<b>21.</b> Medición de la diferencia de la altura inicial del molde con la altura final de la mezcla de concreto habiendo retirado el molde, según norma ASTM C – 143.....	75
<b>22.</b> Proceso de compactación de la mezcla de concreto dentro de los moldes, por medio del vibrador .....	76
<b>23.</b> Etapa de desencofrado del núcleo de concreto, ya solidificado.....	76
<b>24.</b> Núcleo de concreto ya listo para la etapa de curado en agua para lograr diferentes edades de curado.....	77
<b>25.</b> Nivelación de los extremos de los núcleos de concreto con azufre para ser sometidos a ensayo a compresión.....	78
<b>26.</b> Máquina de ensayo para especímenes de concreto en ensayo a compresión .....	78
<b>27.</b> Núcleo de concreto ya ensayado a compresión... ..	79
<b>28.</b> Núcleos patrón ya ensayados.....	79
<b>29.</b> Núcleos con acero de ¼ de pulgada, ya ensayados .....	80

<b>30.</b> Núcleos con acero de ½ pulgada, ya ensayados .....	80
<b>31.</b> Ferroskan, equipo utilizado para el escaneado del acero en los elementos estructurales .....	91
<b>32.</b> Piezas diseñadas para sujetar los moldes de PVC.....	100
<b>33.</b> Barrenado de orificios en los moldes cilíndricos, con taladro vertical, para la inserción de las varillas de acero .....	100
<b>34.</b> Vista de los moldes con varillas de acero insertadas según la posición determinada .....	100
<b>35.</b> Conjunto de moldes con acero de ½ pulgada insertado.....	100
<b>36.</b> Fabricación del marco para sujetar el conjunto de moldes .....	101
<b>37.</b> Colocación de los moldes dentro del marco.....	101
<b>38.</b> Moldes ya preparados para la fundición con concreto .....	101
<b>39.</b> Agregado fino una vez hecha su granulometría.....	102
<b>40.</b> Agregado grueso una vez hecha su granulometría.....	102
<b>41.</b> Mezcladora conteniendo los agregados fino, grueso y cemento UGC.....	102

<b>42.</b> Mezcla recién hecha, lista para verterla en los moldes.....	102
<b>43.</b> Vertido de la mezcla de concreto dentro de los moldes.....	103
<b>44.</b> Enrazado de los moldes por medio de varilla .....	103
<b>45.</b> Compactación del concreto por medio de vibrador para evitar cavidades por aire atrapado dentro de la mezcla .....	103
<b>46.</b> Compactación con ayuda del vibrador y una palanca de metal .....	103
<b>47.</b> Corte del molde con ayuda de un disco con punta de diamante.....	104
<b>48.</b> Extracción del molde de PVC.....	104
<b>49.</b> Núcleo de concreto ya desencofrado.....	104
<b>50.</b> Núcleos de concreto listos para el curado en agua.....	104
<b>51.</b> Núcleos de concreto ya cabeceados con azufre para poder nivelar sus extremos.....	105
<b>52.</b> Núcleo de concreto nivelado dentro de la máquina de ensayo.....	105
<b>53.</b> Pistón superior de la máquina de ensayo a compresión.....	105
<b>54.</b> Núcleo de concreto ya ensayado.....	105

## TABLAS

I. Resistencias a compresión en cubos de 100 mm. y curado a 28 días .....	25
II. Resistencias a compresión en cubos de 150 mm. y curado a 7, 28 y 96 días .....	26
III. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto .....	39
IV. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	40
V. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenidos y tamaños máximos nominales de agregado .....	41
VI. Factores de corrección para determinar resistencias a compresión de núcleos de concreto .....	68
VII. Análisis granulométrico de agregado fino .....	72
VIII. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	73
IX. Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 20 días y con acero de $\frac{1}{4}$ " .....	81
X. Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 20 días y con acero de $\frac{1}{2}$ " .....	82

<b>XI.</b> Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 28 días y con acero de $\frac{1}{4}$ " .....	83
<b>XII.</b> Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 28 días y con acero de $\frac{1}{2}$ " .....	84
<b>XIII.</b> Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 56 días y con acero de $\frac{1}{4}$ " .....	85
<b>XIV.</b> Resistencia a compresión en núcleos de concreto curado a 56 días y con acero de $\frac{1}{2}$ " .....	86
<b>XV.</b> Resumen de los cálculos estadísticos con sus respectivos factores de corrección .....	90



## GLOSARIO

<b>Aire incluido</b>	Burbujas de aire microscópicas y esféricas, normalmente con diámetro entre 10 $\mu$ m y 1000 $\mu$ m, intencionalmente incorporadas en el concreto para suministrar resistencia a la congelación-deshielo y/o mejorar la durabilidad.
<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>Agregado fino</b>	Arena gris como componente del concreto.
<b>Agregado grueso</b>	Piedrín como componente del concreto.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>Cemento</b>	Es un aglomerante hidráulico que se obtiene pulverizando otro producto: clínker, que, a la vez, es la calcinación de una mezcla proporcionada de materiales sílicos, calcáreos y arcillosos.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Columna</b>	Elemento estructural vertical que trabaja a compresión, transmite las cargas a las zapatas.
<b>Concreto</b>	Piedra artificial resultante de la combinación de cemento, agua y agregados pétreos dosificados adecuadamente.

<b>f'c</b>	Parámetro que indica la resistencia del concreto sometido a compresión expresada en Kg/cm <sup>2</sup> .
<b>Fraguado</b>	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
<b>Granulometría</b>	Distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.
<b>Mampostería</b>	Es el sistema de construcción tradicional de muros mediante la colocación manual de elementos que pueden ser ladrillos, bloques de cemento prefabricados y piedras.
<b>Mortero</b>	Mezcla plástica obtenida con un aglomerante, arena y agua, que sirve para unir las piedras y/o ladrillos que integran las obras de mampostería y/o para revestirlas con los acabados de albañilería.
<b>PCA</b>	Portland Cement Association.
<b>Resistencia a compresión</b>	Es la resistencia máxima que una probeta de concreto, o mortero puede resistir cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada.

<b>Revenimiento</b>	Medida de consistencia del concreto fresco, igual al asentamiento inmediato de una probeta moldeada con un cono normalizado
<b>Solera</b>	Elemento estructural horizontal de concreto, que tiene como función conectar monolíticamente, los elementos estructurales verticales, para dar mayor estabilidad a las estructuras y refuerzo de muros de mampostería. Dependiendo de su localización en el muro, puede recibir el nombre de solera inferior (de humedad), intermedia o superior (corona).
<b>Testigo o núcleo</b>	Muestra cilíndrica de concreto extraída de un sistema estructural para motivos de ensayo.
<b>Trabajabilidad</b>	Es la propiedad del concreto o morteros frescos que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado.
<b>Viga</b>	Elemento estructural horizontal que trabaja a flexión y flexo compresión, soportan a las losas, cubiertas y entresijos.
<b>Zapata</b>	Elemento estructural que sirve de cimentación a un pilar, muro u otro elemento superficial, transmitiendo los esfuerzos que recibe de éste, al suelo.



## **NORMAS**

### **ASTM C-29:**

Standard test method for bulk density “unit weight” and voids in aggregate.

Método de prueba normalizado para determinar la densidad aparente “peso unitario” e índice de huecos en los áridos.

### **ASTM C-31:**

Standard test method of making and curing concrete test specimens in the field.

Método de prueba normalizado para la elaboración y curado en el campo de especímenes de pruebas para concreto.

### **ASTM C-39:**

Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.

Método de prueba normalizado para la fuerza a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

### **ASTM C-40:**

Standard test method of organic impurities in sands for concrete.

Método de prueba normalizado para determinar el contenido de materia orgánica en los agregados finos para concreto.

### **ASTM C-42:**

Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.

Método de prueba normalizado para la obtención y ensayo de núcleos de perforados y vigas aserradas de concreto.

**ASTM C-78:**

Standard test method for flexural strength of concrete.

Método de prueba normalizado para resistencia a la flexión de probetas prismáticas.

**ASTM C-117:**

Standard test method for materials finer than N° 200 (75  $\mu\text{m}$ ) sieve in mineral aggregates by washing.

Método de prueba normalizado para material fino que pasa el tamiz N° 200 en agregados minerales por medio del lavado.

**ASTM C-127:**

Specific gravity and absorption of coarse aggregate.

Peso específico y absorción en agregados gruesos.

**ASTM C-128:**

Specific gravity and absorption of fine aggregate.

Peso específico y absorción en agregados finos.

**ASTM C-136:**

Standard test method for sieve or screen analysis of fine and coarse aggregates.

Método de prueba normalizado para el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos.

**ASTM C-138:**

Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete

Método de prueba normalizado para determinar por medio del método gravimétrico el peso unitario, volumen producido y contenido de aire del concreto.

**ASTM C-143:**

Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete

Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico.

**ASTM C-172:**

Standard practice for sampling freshly mixed concrete

Practica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado.

**ASTM C-231:**

Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method

Método de prueba normalizado para la determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.

**ASTM C-270:**

Specification for mortar for unit masonry.

Especificación para morteros utilizados en albañilería.

**ASTM C-496:**

Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens.

Método de ensayo normalizado para resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.

**ASTM C-617:**

Standard test method of capping cylindrical concrete specimens.

Método de prueba normalizado para el refrentado de testigos cilíndricos de concreto.

**ASTM C-780:**

Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry.

Método de prueba estándar para la evaluación en la preconstrucción y construcción de morteros sencillos y reforzados en la unidad de albañilería.

**ASTM C-1064:**

Standard test method for temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete.

Método de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado.

**ASTM C-1157:**

Standard performance specification for hydraulic cement.

Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico

## RESUMEN

Regularmente cuando alguna construcción tiene problemas estructurales, o se tiene duda del tipo de concreto colocado se recurre a la perforación o extracción de núcleos de concreto, en algunos casos el proceso de barrenado corta varillas de acero, trayendo consigo el núcleo de concreto acero incrustado que dependiendo del elemento de concreto a analizar el acero puede encontrarse en varias posiciones o traer consigo hasta dos aceros que en el momento de evaluarse a compresión variará a beneficio o en contra el resultado del ensayo.

Para la evaluación de estos núcleos de concreto se determinó nueve posiciones posibles del refuerzo incrustado para luego ensayarlos a compresión al igual que los núcleos patrón, es decir, sin refuerzo para lograr la comparación y apreciación deseada.

El diámetro del núcleo de concreto es de dos pulgadas, ya que es el diámetro usualmente utilizado para el muestreo del concreto endurecido y acero de diámetro de  $\frac{1}{4}$  de pulgada liso y  $\frac{1}{2}$  pulgada corrugado, se pensó que el diámetro del acero, lo liso o corrugado y la diferencia de posiciones colocado dentro del núcleo podrían influir en los resultados a compresión. El tamaño máximo del agregado fue de  $\frac{3}{8}$  de pulgada para lograr un mejor amarre de adherencia entre el concreto y el acero para así obtener una mayor representatividad y análisis del resultado a compresión. Las edades de ensayos fueron de 20 días, 28 días y 56 días y por cada edad se obtuvieron dos muestras para promediar en cada una de las nueve posiciones del acero incrustado la resistencia a compresión.

Cada paso para la realización del proyecto de investigación se fueron premeditando para su cumplimiento de normas internacionales como lo son las ASTM (American Standard Testing Materials) para obtener resultados estándares, lograr observar las diferencias y concluir adecuadamente para cumplir con los objetivos de la investigación.

Finalmente, se logró comprobar que evidentemente existe disminución en los resultados a compresión de los núcleos de concreto con acero incrustado respecto a los que no tienen, obteniéndose factores de disminución por medio de evaluaciones estadísticas.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Determinar los valores reales de resistencia a compresión en núcleos de concreto con acero incrustado.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Obtener porcentajes reales de disminución en la resistencia a compresión de los núcleos de concreto.
2. Evaluar las resistencias por medio del ensayo a compresión, de los núcleos que conforman las nueve posiciones del acero dentro de cada núcleo, así como de los dos diámetros de acero examinados, y compararlos con las resistencias de los núcleos patrón.



## INTRODUCCIÓN

La extracción y ensayo de núcleos de concreto en el laboratorio, es un proceso ordinario, sin embargo el hecho de que dichos núcleos contengan varillas de acero en su interior, supone algún efecto adicional al que presentan los núcleos puramente compuestos de concreto, es por ésta variación que se realiza el presente trabajo.

El estudio se basa en el efecto del refuerzo horizontal en el ensayo de resistencia a compresión de núcleos de concreto de diámetro de 2 pulgadas y con hierro de  $\frac{1}{4}$  y de  $\frac{1}{2}$  pulgada con tamaño máximo de agregado de  $\frac{3}{8}$  de pulgada. La evaluación de una estructura de concreto existente, o la incertidumbre del concreto recientemente colocado y endurecido, hace necesario verificar la calidad por medio de la extracción y ensayos a compresión en núcleos de concreto. En ocasiones se dificulta la extracción, trayendo consigo a las muestras de concreto, varillas de acero atravesadas, y paralelas al área del testigo y en el momento de ensayarlas a la compresión afecta el resultado con posibles ventajas o desventajas, por lo mismo es necesario el estudio para determinar el grado de influencia en los resultados. Primero se analizarán los agregados, luego se realizarán las mezclas de concreto y luego se ensayarán a compresión los núcleos de concreto con las diferentes posiciones de varillas de acero para así comparar los resultados con los núcleos patrón (sin acero), para dar finalmente el análisis de resultados con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.



## 1. ANTECEDENTES

La extracción de núcleos de concreto no es aconsejable realizarla y en donde se debe de realizar tratar la manera de no perjudicar el sistema estructural. Regularmente la extracción de testigos de concreto se lleva a cabo cuando es necesario evaluar la calidad del concreto colocado o corroborar con lo establecido por el Ingeniero Estructural.

Debido a las dificultades que presentan las construcciones de edificaciones ya sea por causas de una mala elaboración del concreto o una mala administración del proyecto debiendo de bajar la calidad de la misma o desconocimiento en la elaboración de la construcción, reflejándose en síntomas que presentan la misma edificación por medio de fisuras o grietas, que en algunos casos son perjudiciales y en otros lo que hace generar es cierta fobia en las personas que las habitan, pero la realidad es que no tiene ningún efecto trascendental en algunos casos en la construcción.

Esto hace necesario la supervisión correcta de la edificación como por ejemplo: a) La colocación adecuada del acero, b) distribución correcta de las columnas, c) Puesto uniforme de las vigas, soleras, mochetas, cimientos. Lo anterior expuesto refleja un análisis y diseño estructural adecuado antes de elaborar la obra. Posteriormente a la planificación y análisis procede la correcta elaboración de la construcción, para esto es necesario de mano de obra calificada y correctamente dirigida por un experto o profesional.

Luego de haber planificado apropiadamente y utilizado la mano de obra calificada sobreviene un tercer paso que son materiales adecuados para la construcción y de alguna manera enlazada con los temas expuestos anteriormente. De nada sirve realizar un correcto análisis o tener la mano de obra calificada si los materiales no son de buena calidad, ya que dichos materiales también vienen ayudar al mejoramiento o durabilidad de la estructura.

A veces se tienen materiales de buena calidad y mano de obra calificada, pero resulta que el profesional, a veces, desconoce la manera de utilizar o combinar adecuadamente los materiales provocando mala calidad de los elementos estructurales, las cuales, como ya se dijo anteriormente, reflejan en la edificación en forma de fisuras o grietas que dependiendo del tipo de estructura y las cargas que soportarán definirán el tipo de fisura o grietas.

### **Algunos de los ejemplos de construcciones mal realizadas:**

A continuación se presentan algunas fotografías obtenidas de diferentes proyectos, en donde se pone en evidencia el desconocimiento del uso adecuado de los materiales de construcción así como el desconocimiento del proceso constructivo; dando como consecuencia el apareamiento de fisuras o grietas en los elementos estructurales de la construcción.

Figura 1. Falla en una viga debido a reacciones químicas internas en el concreto y del acero.



La reacción química del concreto y del acero se debe a un concreto pobre en resistencia, debido a varios factores como:

- Demasiada agua en la mezcla fresca, aumentando la relación agua/cemento, la cual disminuye la resistencia del concreto.
- Materiales de mala calidad para la realización del concreto.
- Inadecuada combinación o proporcionamiento de los materiales.

Estos factores hacen que exista incremento de vacíos dentro del concreto, por lo que éste no ofrece resistencia al medio al cual se encuentra expuesto, provocando como síntoma el hinchamiento del acero y del concreto lo cual conlleva a la disminución en la durabilidad de la estructura.

Figura 2. Grieta en muro o pared de una edificación, causada por la mala distribución de las columnas.



Figura 3. Defecto constructivo, la no linealidad del acero de refuerzo, perjudicando en la transmisión de cargas o el verdadero funcionamiento de los elementos estructurales que es distribuir uniformemente las cargas para efectivamente absorber y mantener en pie el elemento estructural.



Figura 4. El desconocimiento de cómo interactúan las cargas en los empalmes o uniones entre elementos estructurales hace cometer este tipo de errores como el de no proporcionar la longitud adecuada del acero.



Figura 5. El no colocar una solera o viga uniendo los elementos estructurales como las columnas provoca debilitamiento en el sistema de la edificación, observándose como síntomas las fisuras o grietas en un futuro, tal como se puede apreciar en la siguiente fotografía.



Estos son algunos de los errores encontrados en la construcción debido a que no se contrata a profesionales especialistas en la materia, dichos errores traen consigo problemas de fisuras o grietas que visualmente proporciona un aspecto, en algunos casos, atemorizante, recurriendo a expertos para determinar las causas que originan las fallas en la edificación y determinar el grado de perjudicialidad en la construcción para los habitantes de la misma, en algunos casos gastando más de lo establecido por el refuerzo adicional a colocar y por la realización de pruebas a desarrollar para establecer la causa del fisuramiento o agrietamiento, ya que establecida la causa entonces se proporciona el remedio adecuado.

### **ENSAYOS A REALIZAR PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS FISURAMIENTOS O AGRIETAMIENTOS:**

Es necesario realizar una inspección visual del lugar el cual se encuentra en problemas, para obtener una visión general de los posibles ensayos por ejecutar. Generalmente, los ensayos por efectuar son los siguientes:

Determinación de la colocación de los dos tipos de refuerzo, longitudinal y transversal, en columnas y vigas principalmente en aquellas elementos estructurales que se encuentran soportando cargas principales o muestra problemas de fisuras o grietas. Esto se realiza con el fin de determinar la distribución del acero, este tipo de ensayo se realiza escaneando sobre el concreto o con un aparato llamado micro covermeter.

Figura 6. Utilización del covermeter para ubicación del acero estructural.



Figura 7. Obtención de una varilla de acero de algún elemento estructural representativo de la edificación para comprobar el grado o resistencia correspondiente.



No se debe descartar la posibilidad de falla del suelo, ya que es otro de los factores posibles en originar fallas en una estructura entre dichos ensayos se muestran los siguientes:

Figura 8. Muestra inalterada del lugar envuelta en parafina para evitar la pérdida de las propiedades físico mecánicas del suelo bajo la estructura a nivel de la zapata de mayor profundidad.



Figura 9. Otros de los ensayos por realizarse al suelo son: resistencia a compresión confinada por medio del ensayo triaxial.



Límites de Atterberg: por medio de dicho ensayo se determina la clase de suelo sobre el cual se construye.

Figura 10. Extracción de núcleos de concreto, es otro ensayo importante para determinar la causa de las fisuras o grietas en la construcción, este tema se tratará con mayor amplitud en el capítulo 5.



Figura 11. Núcleo extraído.

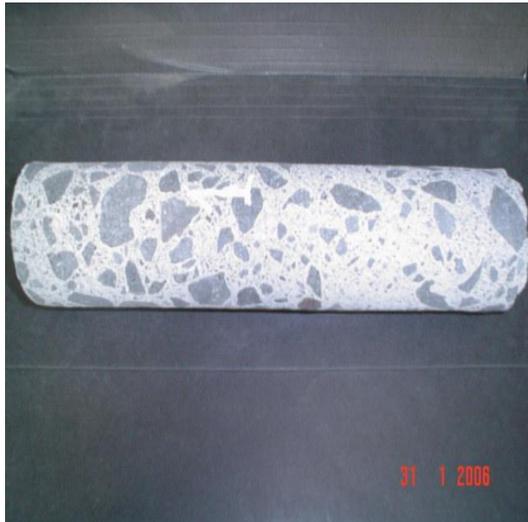
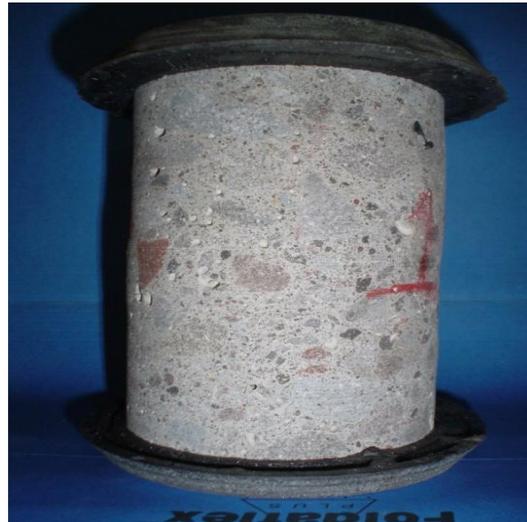


Figura 12. Núcleo cabeceado con tapas de azufre.



Este ensayo se realiza con el objetivo de obtener resultados de resistencia del concreto, medición del grosor del pavimento o profundidad de la fisura o grieta del elemento. Y por último, un mapeo de los tipos de fisuras y grietas en porcentaje para evaluar la forma persistente de las fisuras o las grietas en la construcción. Dicho ensayo es uno de los que proporcionará un gran aporte para determinar la causa de falla en la edificación.

Unificando todos los ensayos desde la inspección visual, el escaneo en el concreto para la distribución del acero, la determinación de la resistencia del acero por tensión, las propiedades físico mecánicas del suelo, la extracción y ensayo a compresión de testigos de concreto y el mapeo de las fallas de la construcción, se evalúa dicha información recabada para llegar a alguna conclusión, en algunos casos con dicha investigación se puede concluir y en algunos otros casos será el principio para seguir la búsqueda de la causa de la falla de la estructura con mayor profundidad.

## **2. ENSAYOS QUE DEBERÍAN REALIZARSE PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN PARA EVITARSE PROBLEMAS DE FISURAMIENTOS O AGRIETAMIENTOS**

### **2.1 Ensayos de los Agregados:**

Deberían de realizarse ensayos para verificar la calidad evaluando las propiedades físico -mecánicas y químicas ya que cada uno de ellos influye en la calidad del concreto a obtener, puede darse el caso en que cumpla la resistencia mecánica pero al interactuar químicamente con el cemento puede ocasionar o desembocar en fisuras y grietas y dependiendo de la magnitud de la reacción y del tipo de estructura podría debilitar al sistema estructural o disminuir la durabilidad prevista.

#### **2.1.1 Agregado fino y grueso**

Densidad relativa y porcentaje de absorción (ASTM C-127 y ASTM C-128)

La densidad relativa es un valor adimensional y funciona para el cálculo en el diseño de mezclas de concreto específicamente en volúmenes absolutos. A una densidad mayor y una granulometría bajo especificación en los agregados hace aumentar la densidad del concreto y en algunos casos hace disminuir la cantidad de cemento a utilizar según el tipo de cemento utilizado, ya que la densidad del cemento también es considerada.

La realización del ensayo se indica en la norma ASTM C-128, básicamente es llegar a la condición seco saturado el agregado fino por medio de secado al aire y verificándose dicha condición con un cono metálico especificado bajo norma. Una vez obtenido la condición seco saturado (no excedente de humedad sobre la superficie del poro de las partículas) se sumerge en agua, dicha agua desplazada será el volumen desplazado de las partículas del agregado fino y el cálculo de la densidad relativa se realiza bajo el principio de la formula  $Densidad = Masa / Volumen$ , donde la masa es el peso tomado en condición seco saturado al aire dividido entre el volumen desplazado y de ahí es el valor adimensional, porque el peso al aire es en gramos y el volumen desplazado es pesado en gramos.

El valor de la absorción es un valor indicador del grado de consumo de agua en la mezcla de concreto, también dependiendo del grado de humedad que se tenga en las partículas del agregado fino. Estos valores de humedad y absorción en el agregado fino pueden afectar la relación A/C (agua-cemento) y por lo mismo afectar en la densidad del concreto, dependiendo de sus valores, aumentará o disminuirá en la densidad del concreto real creando cierto desfase entre la densidad del concreto teórico y real debiéndose realizar los ajustes necesarios para no afectar el rendimiento del concreto.

Figura 13. Muestras de agregados para determinación de densidad relativa y humedad de absorción.



Al no tomarse en cuenta dichos rendimientos pueden afectar en el costo del concreto y por lo mismo en el costo de la construcción y finalmente construcciones de mala calidad por efecto de cálculo de rendimientos irreales.

Figura 14. Cono metálico para determinar el estado seco de los agregados.



### Contenido de materia orgánica:

El contenido de materia orgánica en el agregado fino se realiza por medio de soda cáustica diluida al 3 por ciento en agua y colocada en un frasco en conjunto con el agregado fino durante 24 horas. Al finalizar las 24 horas se compara con un colorímetro para determinar el grado de contaminación del agregado el cual debería permanecer en un rango de 0 a 3, según el colorímetro. En algunos casos la contaminación sobrepasa el rango establecido por normas debiéndose lavar el agregado o realizar pruebas de resistencia a compresión en cubos de morteros y tal resistencia no deberá bajar del 90% comparado con morteros en condición ideal según procedimiento establecido por el ACI 318.

Figura 15. Colorímetro para determinar el contenido de materia orgánica.



La contaminación es ocasionada por la descomposición de vegetales orgánicos, acumulación de suelos arcillosos o limos que vendrán a repercutir en la calidad del concreto inhibiendo la reacción química en la pasta afectando específicamente en la adherencia del concreto y por lo mismo en la resistencia a compresión. Al observar la falta de resistencia a compresión para curar o alivianar dicho efecto en algunos casos se procede agregar cemento la cual repercute al final de la construcción en costos adicionales y aparte de ello, en algunos casos, la durabilidad del concreto se reduce ya que existen reacciones químicas con el cemento provocando fisuras debilitando el sistema estructural.

Peso unitario volumétrico y porcentaje de vacíos en los agregados (ASTM C-29):

Consiste en un recipiente estandarizado con medida volumétrica y su varilla de apisonamiento, cada recipiente variará según tamaño máximo del agregado grueso o fino. Básicamente sirve para determinar el peso del material dentro de un volumen establecido y con ello se obtiene la densidad de los agregados. En ocasiones con una buena granulometría automáticamente los vacíos tenderán a disminuir y mejorar la densidad de los agregados, el aumento en la densidad de los agregados y con una buena combinación de dos hasta seis agregados hace posible la disminución de vacíos y el aumento de la densidad en el concreto y por lo mismo un bajo consumo de cemento.

La masa unitaria volumétrica de los agregados también sirve para determinar de proporciones en peso a proporciones en volúmenes aparentes del concreto para trabajarse en campo.

### Granulometría (ASTM C-136):

Una buena granulometría significa adecuada distribución de los tamaños de los agregados para cada tamiz mejorando la combinación de finos y gruesos en el concreto. Dependiendo del tipo y la tecnología de la trituradora así afectara en la forma, redondez, número de caras fracturadas y distribución de los tamaños de los agregados. Estas características influyen en la calidad del concreto en estado fresco y por lo mismo en la calidad del concreto endurecido. Entre los tamices de mayor uso para los concretos normales se encuentran: Agregados gruesos 1.5 pulgada, 1 pulgada,  $\frac{3}{4}$  pulgada,  $\frac{1}{2}$  pulgada,  $\frac{3}{8}$  pulgada y en agregados finos número 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

El ensayo consiste en obtener una muestra representativa según el tamaño máximo del agregado bajo requerimientos de la norma ASTM D-75, reduciéndose a la cantidad necesaria según su tamaño para luego tamizarlos y obtener los pesos por cada tamiz, de la sumatoria de cada uno de estos pesos se obtiene el peso total de la muestra y deberá coincidir con la cantidad pesada inicial, cada uno de estos pesos se divide por el total y se multiplica por cien, obteniéndose el porcentaje retenido individual.

### Porcentaje pasa tamiz 200 (ASTM C-117)

Este ensayo consiste en determinar la cantidad de finos que pasa por el tamiz 200 por método de lavado, un exceso de finos significa en aumentar la cantidad de agua para darle fluidez al concreto haciendo aumentar la relación agua/cemento y a la vez disminuyendo la resistencia en el concreto tanto a flexión como a compresión.

Este ensayo consiste en la separación de partículas finas de los agregados por método de lavado, en el cual la muestra debió ser muestreada y pesada según su tamaño como lo indica la norma y luego del pesado en seco se procede a lavar agitando y decantándolo, al mismo tiempo, pasándolo a través de los tamices número 16 para retener cualquier partícula mayor al tamiz 200 y el mismo tamiz 200 para retener y quitar el exceso de finos, luego se deja en el horno durante 24 horas a temperatura de 110 °C ya en condición seco se deja a temperatura ambiente para pesarlo posteriormente y luego se procede a calcular de la siguiente manera: el peso inicial menos el peso final dividido entre el peso final multiplicado por 100 se obtiene el porcentaje de exceso de pasa tamiz 200 de dicho agregado.

Para el agregado grueso se determina la densidad relativa y porcentaje absorción, según norma ASTM C-128.

#### 2.1.2 Diseño teórico de mezcla de concreto:

Posteriormente del análisis de los materiales a utilizar en el concreto viene la realización de las mezclas de concreto, pero para ello deberá realizarse pruebas de laboratorio para determinar cuál es la mezcla que cumpla las condiciones necesarias para la estructura a realizar. Las condiciones generales del concreto deberá amarrarse en el diseño teórico en dos fases, siendo: a) Mezcla de concreto en estado fresco y b) Mezcla de concreto en estado endurecido.

Entre las condiciones que debe cumplir el concreto se encuentran:

- Resistencia mecánica establecida por el Ingeniero estructural.
- Durabilidad en el concreto (Posibles reacciones químicas).
- Cumplir o satisfacer las necesidades del sistema estructural de la mezcla en estado fresco.

La no satisfacción del concreto en pruebas de laboratorio se podrá corregir adecuadamente antes de utilizarse y así prevenir algunos inconvenientes sobre el sistema estructural construido. De nada sirve realizarse ensayos de laboratorio a los agregados si no existe una adecuada combinación de todos los materiales que conforma a la mezcla de concreto, dicha combinación solo se logra a través de un correcto análisis del diseño teórico y práctico de la mezcla de concreto en donde deberá de satisfacer las condiciones anteriormente expuestos.

Cada una de estas condiciones se verá en el capítulo 3 con mayor amplitud.

Cada ensayo presentado a continuación pueden presentar buenos resultados, pero también debe colocarse cada elemento estructural adecuadamente para que todo el sistema estructural interactúe como un solo.

### 2.1.3 Ensayos de Varillas de acero:

Debido a que el acero en la construcción posee una función muy importante junto al concreto, es necesario practicarle ensayos para determinar su calidad y prestación que tienen que poseer los materiales que lo componen. Como hay muchos tipos de aceros diferentes y, además, se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos

mecánicos para verificar principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos que pueda estar sometido, el grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material, lo cual afecta directamente al material pues se pueden producir fracturas o hasta roturas. Hay dos tipos de ensayos, unos pueden ser destructivos y otros no destructivos.

Los ensayos no destructivos son los practicados al acero sin que como su nombre lo indica, destruir el material, éstos pueden ser:

- a) Ensayo microscópico y rugosidad superficial.
- b) Ensayo por partículas magnéticas.
- c) Ensayo por líquidos penetrantes.
- d) Ensayo por ultrasonido.

Los ensayos destructivos son aquellos que se practican a probetas especialmente diseñadas y bajo estándares internacionales, las cuales al final quedan totalmente inservibles, éstos ensayos son:

- Ensayo de dureza.
- Ensayo de esfuerzo a tensión.
- Ensayo de esfuerzo a compresión.
- Ensayo de esfuerzo al corte.
- Ensayo de esfuerzo flexionante.
- Ensayo de esfuerzo torsionante.
- Ensayo de fatiga.

- Ensayo de plegado.
- Ensayo de resiliencia.

#### 2.1.4 Ensayos de estudios de suelos:

Estos ensayos son pruebas que se realizan para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento geotécnico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras previamente obtenidas en el terreno y dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra.

Para la determinación de las propiedades del suelo, los ensayos se clasifican en:

- Ensayos de identificación, los cuales junto con los de compactación pueden ser realizados sobre muestras alteradas y pueden ser: físicos, en los cuales se determina su granulometría, su plasticidad y el peso específico de las partículas, y los químicos con los cuales se determina el contenido de sulfatos, carbonatos o materia orgánica.
- Ensayos de estado de humedad.
- Ensayos de permeabilidad.
- Ensayos de cambio de volumen.

- Ensayos de resistencia.
- Ensayo de compactación Próctor.

#### 2.1.5 Ensayos de mampostería:

Entre los ensayos que se realizan están:

- Ensayo de Mampuestos.

La mampostería continua siendo hoy uno de los sistemas constructivos más económicos ya que soluciona simultáneamente el cerramiento y la estructura de la edificación. Cualquier mejora de orden tecnológico que produzca una disminución de costos de ejecución constituye un beneficio económico-social sostenido en el tiempo. Los ensayos, que permiten obtener datos de comportamiento de estas estructuras, son muy escasos en nuestro país y se han realizado con meritorio esfuerzo pero no brindan información adecuada para el diseño de estructuras de mampostería. Existen varios ensayos con el objeto de disminuir las incertidumbres que se encuentran en el diseño.

Algunos de los ensayos que se realizan a piezas de mampostería son:

- ensayo dinámico en mesa vibratoria de una estructura representativa de mampostería encadenada,
- ensayo de paneles prefabricados de sistemas constructivos,

- ensayo estático de muros de mampostería armada.

#### 2.1.6 Ensayos de mezclas de levantado y de recubrimiento:

### ENSAYO DE COMPRESIÓN

El ensayo de compresión se realiza con muestras en forma de cubo o cilíndricas tomadas de una muestra representativa de las mezclas de levantado, y cualquiera de la sección que se moldee en otro día. Las dimensiones de los cubos o cilindros serán estipuladas por los organismos locales de ensayo.

#### Cubos de ensayo

Los moldes para fabricar los cubos de ensayo serán de acero o hierro fundido, con las superficies interiores paralelas entre sí y terminadas a máquina. No deben utilizarse moldes de madera. Cada molde debe tener una placa de base metálica con una superficie plana que aguante el molde e impida las fugas. Es esencial mantener el molde y las placas de base limpias y ambos deben lubricarse ligeramente para impedir que el mortero se adhiera a los lados. No debe ejercerse un esfuerzo excesivo al juntar los lados.

El cubo de 100 mm de lado, debe llenarse en tres capas procedentes de tres mezclas distintas. Cada capa debe apisonarse por lo menos 25 veces

con una barra de acero de 600 mm de longitud que tenga en su extremo una cara constituida por un cuadrado de 16 mm de lado y cuyo peso se ajuste a la norma local. La superficie del cubo debe quedar lisa.

Comúnmente, se producen seis cubos por moldeo y se envían dos de ellos para someterlos a ensayo a los 7, 28 y 96 días del moldeo.

La experiencia indica que los resultados mínimos obtenidos deberían ser, según Norma ASTM C-780 y ASTM C-270, del siguiente orden:

Tabla I. Resistencias a compresión en cubos de 100 mm. y curado a 28 días.

Días	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Tipo
28	800	56.25	N
28	1,600	126.55	S
28	2,500	175.77	M

Aunque en algunos proyectos específicos los requerimientos de las propiedades de la mezcla en estado fresco y endurecido son tan especiales al punto que deberán realizarse pruebas de laboratorio para ajustarse a las necesidades propias del proyecto.

En el Reino Unido, a lo largo de muchos moldeos y utilizando cubos de 150 mm, los resultados fueron superiores a:

Tabla II. Resistencias a compresión en cubos de 150 mm. y curado a 7, 28 y 96 días.

Días	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
7	6,000	422
28	7,500	527
96	9,000	633

Las sociedades europeas tienen sus propias clasificaciones así como sus propios procedimientos y prescripciones mínimas de resistencia.

Las probetas deben curarse a una temperatura no inferior a 10 °C y de la misma manera que se curan las mezclas y durante el mismo tiempo. Las probetas deben llevarse al laboratorio de ensayo el séptimo y vigésimoctavo día después de su toma y envueltas en un trapo humedecido o similar.

## ENSAYO DE CONSISTENCIA

Este ensayo se realiza para medir la consistencia de la mezcla. La variación de los valores de la consistencia obtenida indica la variación del contenido de agua o de las proporciones de la mezcla, por lo que es útil para comprobar la calidad del mortero producido.

El aparato utilizado para el ensayo consiste en un molde de acero de 100 mm de diámetro en la parte superior, 200 mm en la inferior y 300 de altura, y se utiliza en combinación con un atacador de acero de 16 mm de diámetro y

600 mm de longitud redondeado en un extremo (estas dimensiones variarán según las normas locales). El interior del molde debe estar limpio antes de someterlo a ensayo y éste debe colocarse sobre una superficie plana y dura. Se llena el molde con cuatro capas, cada una de las cuales se compacta 25 veces con el atacador. Una vez compactada la capa superior se enrasa el nivel del mortero. Se limpia el mortero que pueda escaparse por la base del molde y éste se levanta verticalmente.

La consistencia será la diferencia entre la altura de la mezcla antes y después de haber levantado el molde. Si alguna probeta se quiebra lateralmente o se desploma debe repetirse el ensayo.

Utilizando la mezcla y la relación agua-cemento correctas antes de realizar un moldeo cualquiera, la consistencia media obtenida con varios ensayos nos dará el margen de consistencia aceptable cuando se realice el moldeo. Como la mezcla es una mezcla de mortero, la consistencia puede resultar exagerada con un pequeño aumento de la relación agua-cemento. Por lo tanto, ello resulta una referencia práctica, pero no debe convertirse en un factor predominante cuando las exigencias de la construcción impongan la plena impregnación del refuerzo durante el moldeo.



### 3. DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Entre las consideraciones en un diseño teórico de mezcla de concreto se divide en tres fases siendo estas:

- Concreto en estado fresco.
- Concreto en estado endurecido.
- Durabilidad del concreto debido a agentes químicos en el ambiente.

Entre las propiedades del concreto en estado fresco a tomar en cuenta en un diseño de mezcla son: la **manejabilidad, consistencia y homogeneidad, exudación, contracción y proceso de fraguado.**

- Manejabilidad: la manejabilidad del concreto en estado fresco se refiere a la capacidad de trabajarse o movilizarse con fluidez en su colocación para determinado lugar.
- Consistencia y homogeneidad: la consistencia en una mezcla se conceptualiza como el grado de fluidez entre las que se definen la mezcla fluida, semifluida y dura. La mezcla homogénea se caracteriza por mantenerse unida en pasta y agregados no existe separación alguna de estos elementos que conforman la mezcla.
- Exudación: la exudación reside en una mala combinación de las granulometrías de los agregados o un exceso de humedad en la mezcla.

- Contracción y proceso de fraguado: la contracción se refiere a la propiedad del concreto de reducirse en volumen del elemento fundido debido al cambio de estado plástico ha estado endurecido en el concreto dependiendo dicho fenómeno a la propiedad química del cemento.

Cada componente que conforma al concreto deberá analizarse previamente por medio de ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físico-mecánicas y químicas dichas características deberán combinarse adecuadamente por medio de cálculos matemáticos y criterios del diseñador según las condiciones o requerimientos en la mezcla de concreto, al final lo que se desea es economizar y el cumplimiento del concreto en estado fresco, endurecido y la durabilidad del mismo. En otras palabras una selección adecuada de la dosificación consiste en el equilibrio entre la economía, requisitos de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia.

Otros criterios en las propiedades del concreto en condición fresca son:

- **FACILIDAD DE COLOCACIÓN:** El término adecuado para este concepto será trabajabilidad de la mezcla para su colocación, auto compactación y darle el acabado sin segregación nociva. La trabajabilidad depende de la granulometría de los agregados, forma de las partículas y proporciones de los mismos.
- **CONSISTENCIA:** Facilidad de colocación de la mezcla de concreto. Se mide en términos del revenimiento y este a la vez depende de la cantidad unitaria de agua o aire incluido intencionalmente.

- **RESISTENCIA:** Generalmente la resistencia considerada es la de compresión pero debería de pensarse otras como la durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste.
- **RELACIÓN AGUA/CEMENTO:** Básicamente se determina en función de la resistencia requerida la cantidad de agua neta por la cantidad unitaria de cemento. El contenido neto de agua no incluye la absorbida por los agregados. La relación A/C puede cambiar por consecuencia de las granulometrías de los agregados, forma, textura y dureza de las partículas de los agregados, tipos de cemento utilizados o aditivos que afecten la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla de concreto.
- **DURABILIDAD:** El concreto debe diseñarse, según sea el caso, para ser capaz de resistir todo tipo de exposición que afecte la durabilidad como el clima, sustancias químicas y reacciones álcali-agregado.
- **DENSIDAD:** Regularmente deberá chequearse la densidad del concreto en estado fresco por medio del ensayo de masas unitarias para la verificación de rendimientos, por otro lado existen casos en los que las densidades altas son convenientes según el tipo de proyecto y conveniencia de uso de determinadas estructuras.

- **GENERACIÓN DE CALOR:** En estructuras de gran tamaño pueden existir cambios de temperatura interna en el concreto diferente a la temperatura ambiente causante de un gradiente térmico que repercute en fisuras o grietas en el concreto. Para este tipo de concreto deberá aplicarse el criterio adecuado tanto en mezcla en estado fresco y endurecido.

Cada tipo de concreto requiere de criterios diferentes para lograr acomodarlo a las necesidades básicas como lo son la condición en estado fresco y la condición en estado endurecido y estas condiciones a la vez dependerán de los tipos de materiales y aditivos que buscarán acomodarse para ofrecer el rendimiento y funcionalidad adecuada en obra.

### **CÁLCULO DEL DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA SEGÚN METODO ACI – 211.1 PARA CONCRETO NORMAL:**

Para lograr optimizar la mezcla tanto en estado fresco como endurecido es preciso conocer algunas necesidades de la obra o del cliente para tratar de considerarlas en el diseño teórico práctico de la mezcla de concreto al realizarla en laboratorio, ya que en laboratorio se idealizan y en campo se comportan diferentes por muchos factores o variables que afectan directamente la formulación de laboratorio, y aparte, en cada diseño cada uno de los materiales que conforman el concreto se toleran de diferente manera.

Dichos factores, variables, propiedades físicos de los materiales que conforman el concreto y las necesidades propias de la obra y del cliente deben considerarse en el diseño teórico-práctico de mezcla con **cierto factor de**

**seguridad** para no dejar margen a cierto error que puede perjudicar a la obra y por lo mismo al cliente.

Entre los requisitos para el diseño teórico-práctico se encuentran los siguientes:

1. Tipo de cemento que utilizaran en obra.
2. Resistencia necesaria para el proyecto (definida en los planos del proyecto o por el Ingeniero estructural).
3. Trabajabilidad requerida (asentamiento).
4. Forma de realizar la mezcla:
  - 4.1 Parihuelas o barcas.
  - 4.2 Botes.
  - 4.3 Por peso.
5. Equipo que utilizará para realizar la mezcla.
  - 5.1 Bachadora

Volumen máximo (1 sacos, 2 sacos etc.)
  - 5.2 Camión mezclador

Con carga por peso. (Existirá alguien que controle la humedad de los agregados.)

Con carga por volumen.
  - 5.3 Camión auto cargable (Car Mix)

5.4 “**A mano**” NO RECOMENDABLE Por la extensa variabilidad existente en la cantidad de agua a utilizar y con la dificultad para homogenizar el aditivo y los mismos materiales adecuadamente. En este caso la formulación **no se garantiza**.

6. Tipo de aditivo a utilizar con su hoja técnica correspondiente y si es desconocido en el mercado, sí puede proporcionar cierta cantidad para optimizar su uso, o, si no cumple con su función proponer uno adecuado para los requerimientos del cliente.
7. Tipo de clima al cual se realizará y estará expuesto el concreto, ya que determinados aditivos con ciertos tipos de cementos y en conjunto con el clima pueden reaccionar bruscamente ocasionando fisuras o grietas. Por lo tanto se hace necesario considerarlo en el diseño teórico – práctico de mezcla.
8. Tipos de elementos estructurales a fundir. Pavimento, losa, viga u otro elemento representativo de la dimensión mínima entre aceros de confinamiento y longitudinales para prever ratoneras en el concreto debido al tamaño máximo del agregado grueso y el grado de fluidez para dichos elementos (asentamiento).

Entre las tablas necesarias para el cálculo del diseño teórico de mezcla se encuentran las siguientes:

(ver tablas III, IV y V, al final del presente capítulo)

## CÁLCULO DE DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA

Luego de considerar todas las posibles variables que afectarán a la mezcla de concreto tanto en estado fresco como endurecido se procede a realizar los cálculos teóricos incluyendo en éste dichas variables.

### Procedimiento de Cálculo:

#### Paso No. 1:

Primeramente se define la resistencia del concreto a la que la estructura necesita, que en éste caso se asumirá un  $f'c = 20.7 \text{ N/mm}^2$  (3000 psi) y según análisis estadísticos del ACI – 318 para estimar posibles factores de seguridad (Desviaciones Estándar), pero que básicamente dependerá del criterio del diseñador de mezcla en cuando a las condiciones de hechura de la mezcla en campo, en este ejemplo se considera un factor de  $3.45 \text{ N/mm}^2$  (500 psi) y al revisar la **tabla III** se obtiene una relación  $A/C = 0.62$  correspondiente  $f'cr = 25 \text{ N/mm}^2$  (3,555 psi) cercano a la resistencia nominal ya con su factor incluido.

#### Paso No.2:

A criterio del diseñador se establece un número determinado de sacos/m<sup>3</sup> de cemento = 8 sacos con una densidad específica de 3.1 y un peso de 42.5 kg/saco, que en algunos casos puede encontrarse limitado por efectos de costos y es donde se deberá balancearse las condiciones del concreto fresco con el

endurecido con posibles adiciones de aditivos para lograr la calidad y economía.

### **Paso No. 3:**

Se realiza un análisis de datos de los resultados del laboratorio de agregados finos y gruesos para estimar una adecuada combinación física y química entre ellos mismos con la finalidad de obtener un buen comportamiento, necesario del concreto en estado fresco y endurecido. El diseñador debe de tomar muy en cuenta dichos resultados para aplicar algún criterio necesario para prever alguna anomalía futura en el comportamiento del concreto. Para efectos de cálculo se considera el módulo de finura del agregado fino  $MF = 2.6$  con un tamaño máximo de agregado grueso = 19mm ( $\frac{3}{4}$  de pulgada) y Masa Unitaria compactada con varilla de  $1,440 \text{ kg/m}^3$ . Las densidades específicas de los agregados se encuentran en función de la condición Superficialmente Seco Saturado y sus valores son: Agregado fino= 2.43 y Agregado grueso= 2.57.

### **Paso No. 4:**

La estimación del agua a utilizar dependerá de la relación A/C, del número de sacos/ $\text{m}^3$ , de la calidad de los agregados y del revenimiento o asentamiento requerido. Dicho resultado de agua se compara con la **tabla No. V** para obtener una aproximación de asentamiento según el requerimiento en campo. La densidad específica del agua = 1.

### Paso No. 5:

Resumen de resultados del diseño teórico de mezcla:

$$\text{Cemento} = 340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 211 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Relación A/C} = 0.62$$

$$\text{Agregado Grueso} = 921.60 \text{ kg/m}^3 \text{ Obtenido de la siguiente manera:}$$

M. unitaria compactado con varilla  $1440 \text{ kg/m}^3$ , Módulo de finura del agregado fino = 2.6 con dicho módulo se obtiene un factor de agregado grueso a utilizar = 0.64 (Ver **tabla IV**) calculándose un valor de  $1,440 \text{ kg/m}^3 * 0.64 = 921.60 \text{ kg/m}^3$  de agregado grueso.

### Paso No. 6:

Cálculos por volúmenes absolutos:

$$\text{Cemento} = \frac{340.0 \text{ kg/m}^3}{(3.1 * 1000 \text{ kg/m}^3)} = 0.11 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{(211.0 \text{ kg/m}^3)}{(1 * 1000 \text{ kg/m}^3)} = 0.21 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{(921.6 \text{ kg/m}^3)}{(2.57 * 1000 \text{ kg/m}^3)} = 0.36 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire atrapado por la mezcla de concreto } 2\% = \frac{(2)}{100} = \underline{0.02 \text{ m}^3}$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.70 \text{ m}^3$$

### **Paso No. 7**

Cálculo de volumen absoluto de agregado fino:

$$(1-0.7\text{m}^3) = 0.3\text{m}^3$$

Cálculo de agregado fino en peso =  $(0.3\text{m}^3) \cdot 2.43 \cdot 1000 = 729.0 \text{ kg/m}^3$ .

### **Paso No. 8**

Resumen de materiales en peso por metro cúbico.

Cemento = 340.0 kg/m<sup>3</sup>

Agua = 211.0 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso = 921.6 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino = 729.0 kg/m<sup>3</sup>.

Masa Unitaria Teórica = 2,201.6 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla III. Dependencia entre la relación agua/material cementante y la resistencia a compresión del concreto.  
Según PCA (métrica).

MPa	Resistencia a compresión a los 28 días ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/material cementante en masa	
		Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
45	450	0.38	0.31
40	400	0.43	0.34
35	350	0.48	0.40
30	300	0.55	0.46
25	250	0.62	0.53
20	200	0.70	0.61
15	150	0.80	0.72

**Tabla IV. Volumen de agregado grueso por de volumen unitario de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado		Volumen del agregado grueso varillado ( compactado ) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura agregado fino			
mm	pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	½	0.59	0.57	0.55	0.53
19	¾	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	1 ½	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla V. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenidos y tamaños máximos nominales del agregado

Revenimiento Asentamiento (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5 mm 3/8 "	12.5 mm 1/2 "	19 mm 3/4 "	25 mm 1 "	37.5 mm 1 1/2 "	50 mm 2 "	75 mm 3 "	150 mm 6 "
	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	- - -
Cantidad aproximada De aire atrapado en Un concreto sin aire Incluido, por porcentaje	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
	Concreto con aire incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	- - -
Promedio del conte- nido de aire total recomendado, para el nivel de exposición	%	%	%	%	%	%	%	%
Exposición leve	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Exposición moderada	6.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Exposición severa	7.50	7.00	6.00	6.00	5.00	5.00	4.50	4.00



## **4. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Para Garantizar la calidad del concreto es necesario realizar principalmente los siguientes ensayos de laboratorio:

### **4.1 Práctica normalizada para el muestreo del concreto recién mezclado; según norma ASTM C 172.**

Esta norma señala los procedimientos normalizados para obtener una muestra representativa de una carga de concreto en varios tipos de equipos de mezclado y/o agitación, además señala los límites de tiempo específicos respecto a cuándo deben empezar las pruebas para determinar el revenimiento y el contenido de aire y para iniciar el moldeo de los especímenes para pruebas.

El lapso para la obtención de la muestra compuesta, entre la primera toma hasta la última, no debe exceder de 15 minutos.

Transporte las muestras (individuales) al lugar donde el concreto fresco ha de ser ensayado o donde los especímenes de ensaye han de ser moldeados. Las muestras deben combinarse y remezclar con una pala, la menor cantidad necesaria para asegurar la uniformidad de la muestra compuesta, y el cumplimiento del límite de tiempo especificado en el siguiente párrafo.

Comience los ensayos de revenimiento, temperatura y contenido de aire, dentro de los cinco minutos siguientes a la obtención de la última porción de la muestra compuesta. Realice estos ensayos rápidamente. El moldeo de los especímenes para las pruebas de resistencia debe realizarse dentro de los 15 minutos siguientes a la integración de la muestra compuesta. Rápidamente obtenga y utilice la muestra y protéjala del sol, del viento, y de otras fuentes que provoquen una rápida evaporación, así como de la contaminación.

El tamaño de la muestra para ensayos de resistencia se requiere un volumen mínimo de 1 pie<sup>3</sup> (28 litros). Se puede permitir muestras más pequeñas para ensayos rutinarios de revenimiento, temperatura y contenido de aire. El tamaño debe estar en función del tamaño máximo del agregado.

#### **4.2 Método de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado según norma ASTM C-1064.**

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías.

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil, si no imposible.

El procedimiento de medición de temperatura se realiza de la siguiente manera:

- a. Coloque el dispositivo para medir la temperatura en el concreto de modo que la porción sensible esté sumergida al menos 3 pulgadas (75 mm).
- b. Presione suavemente el concreto alrededor del dispositivo de modo que la temperatura del aire ambiente (afuera) no influya en la temperatura medida.
- c. Deje el dispositivo en el concreto por un mínimo de 2 minutos, o hasta que la lectura se estabilice.
- d. Lea y registre la temperatura del concreto fresco al 1°F (0.5°C) más próximo mientras que el dispositivo está en el concreto.
- e. Complete la medición de la temperatura a los 5 minutos después de obtener la muestra de concreto.

#### **4.3 Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico según norma ASTM C-143.**

El propósito de la prueba de revenimiento es determinar la consistencia del concreto. Está es una medida de la fluidez o movilidad relativa de la mezcla de

concreto. El revenimiento no mide el contenido de agua o la trabajabilidad del concreto.

Procedimiento de la prueba de revenimiento:

- a. Humedezca el molde y colóquelo en una superficie plana rígida no absorbente y húmeda. El molde deberá ser firmemente sostenido en el lugar durante el llenado, y la limpieza del perímetro por el operador, quién mantendrá los pies sobre los estribos o por un arreglo de fijación a la placa base. Llene inmediatamente el molde en tres capas, cada una de aproximadamente  $1/3$  del volumen del molde.

Nota: Un tercio del volumen del molde de revenimiento se llena a una altura de  $2 \frac{5}{8}$  de pulgada (70 mm); dos tercios del volumen se llenan a una altura de  $6 \frac{1}{8}$  de pulgada (160 mm).

- b. Compacte cada capa con 25 golpes de la varilla de apisonamiento. Distribuya uniformemente los golpes en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con los golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. Varille la capa del fondo en todo su espesor. Compacte la segunda capa y la capa superior en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior.
- c. Al llenar y compactar la capa superior, haga que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillar. Si durante el varillado,

la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, agregue más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre la superficie del molde. Después de haber varillado la capa superior empareje la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Continúe empujando el molde firmemente hacia abajo y remueva el concreto de área que rodea la base del molde para evitar la interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando. De inmediato retire el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levante el molde una altura de 12 pulgadas (300 mm) en  $5 \pm 2$  segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un período de 2 ½ minutos.

- d. De inmediato mida el revenimiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior y del espécimen. Si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el desprendimiento de una parte de la masa de concreto, deseche la prueba con otra porción de la muestra.
  
- e. Informe (registre) el revenimiento al  $\frac{1}{4}$  pulgada (5 mm) más próximo.

**4.4 Método de ensayo estándar para determinar por medio del método gravimétrico el peso unitario, volumen producido y contenido de Aire del concreto según norma ASTM C – 138.**

La prueba de la densidad es una herramienta muy importante utilizada para controlar la calidad del concreto recién mezclado.

- a. Determine el peso del recipiente vacío (lb o kg) que ha de usarse.
- b. Varille la capa 25 veces en todo su espesor, pero sin golpear con fuerza el fondo del recipiente. Distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversal del recipiente.
- c. Golpee ligeramente la parte exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- d. Para la segunda capa: Llene el recipiente a aproximadamente  $2/3$  de su volumen.
- e. Varille la capa 25 veces, penetrando la primera capa aproximadamente 1 pulgada (25 mm) distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversalmente del recipiente.
- f. Golpee ligeramente el exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- g. Después de compactar la tercera capa, un exceso de aproximadamente  $1/8$  de pulgada (3 mm) de concreto por encima de la parte superior del

recipiente se considera óptimo. Se puede agregar o remover material representativo según sea necesario previamente al enrasado.

- h. Enrase la parte superior de la superficie del concreto y dé un acabado suavemente con la placa plana de enrasado, dejando el recipiente lleno justamente a nivel.
- i. Limpie completamente el exterior del recipiente y determine la masa (lb o kg) del recipiente lleno con concreto.
- j. Calcule la densidad (peso unitario) del concreto ( $\text{lb/pies}^3$  o  $\text{kg/m}^3$ ) y registre el resultado.

#### **4.5 Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión según norma ASTM C-231.**

Este método de prueba se puede usar para determinar el contenido de aire de los concretos normal y pesado. Sin embargo, no se puede usar con agregados altamente porosos como los que se encuentran en el concreto ligero. Este método de prueba determinará la cantidad de vacíos de aire en el concreto, tanto incluido como atrapado.

- a. Humedezca el interior del recipiente y colóquelo sobre una superficie plana, nivelada y firme.
- b. Para la primera capa: Llene el recipiente aproximadamente 1/3 de su volumen. Varille la capa 25 veces en todo su espesor, pero sin golpear

con fuerza el fondo del recipiente. Distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversal del recipiente.

- c. Golpee vigorosamente el exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- d. Para la segunda capa: Llene el recipiente a aproximadamente  $2/3$  de su volumen.
- e. Varille la capa 25 veces, penetrando la primera capa aproximadamente 1 pulgada (25 mm) distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversalmente del recipiente.
- f. Golpee vigorosamente el exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- g. Para la tercera capa, agregue concreto de tal manera que se evite desparramar excesivamente.
- h. Varille la capa 25 veces, penetrando la segunda capa aproximadamente 1 pulgada (25 mm), distribuyendo uniformemente el varillado en toda la sección transversal del recipiente.
- i. Golpee vigorosamente el exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- j. Enrase la capa superior del concreto: **si se usa la placa de enrase:**
  - j.1. Cubra  $2/3$  de la superficie superior del concreto con la placa: Extraiga la placa usando un movimiento de aserrado al tiempo que se mantiene el nivel de la placa.

- j.2. Coloque la placa sobre el área original cubierta de 2/3 de la superficie superior, avance la placa completamente a través de la superficie superior del concreto usando nuevamente un movimiento de aserrado, con una presión hacia abajo, y manteniendo el nivel de la placa.
- j.3. Sosteniendo la placa en una posición inclinada, y usando el borde de la placa, dé varios golpes finales para producir una superficie acabada lisa.
- k. **Si se usa varilla para enrasar:** Enrase la superficie por medio de la varilla a través del borde del recipiente de medición con un movimiento de aserrado hasta que el recipiente este lleno a nivel.
- l. Limpie completamente la pestaña/borde del recipiente y cubra el ensamblaje.
- m. Sujete la tapa al recipiente asegurando un sellado con gran presión.

En Guatemala es usual utilizar el medidor tipo “B” el cual la correcta utilización es de la siguiente manera:

- Cierre la válvula de aire entre la cámara de aire y el recipiente. Abra las dos llaves de purga en la tapa.
- Utilice una jeringa para inyectar agua a través de una llave de purga hasta que el agua emerja de la llave de purga en el lado opuesto. Sacuda el medidor ligeramente hasta que todo el aire sea expelido.

- Cierre la válvula de alivio y bombee aire dentro de la cámara de aire hasta que la manecilla en la carátula del manómetro esté sobre la línea de la presión inicial. Espere algunos segundos para que el aire comprimido se enfríe.
- Estabilice la manecilla del manómetro en la línea de la presión inicial aliviando, bombeando y golpeando ligeramente el manómetro manualmente.
- Cierre ambas llaves de purga.
- Abra la válvula entre la cámara de aire y el recipiente. Golpee vigorosamente los lados del recipiente con el martillo de hule. Golpee ligeramente el manómetro con la mano para estabilizar su manecilla.
- Lea el porcentaje de aire en la carátula del manómetro.
- Cierre la válvula de aire y luego libere la presión en el recipiente abriendo ambas llaves de purga antes de remover la tapa.
- Calcule el contenido final de aire restando el factor de corrección del agregado, de la lectura de la carátula del manómetro y registre los resultados.

#### **4.6 Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de pruebas para concreto según norma ASTM C-31.**

Los especímenes para pruebas de resistencia del concreto deben de elaborarse de acuerdo con el Método C 31 por dos razones: 1) para que los resultados sean confiables, y 2) para que la prueba pueda ser reproducida por alguien más con el mismo concreto, siguiendo el mismo procedimiento y obteniendo (casi) los mismos resultados.

Una desviación de los procedimientos estándar puede causar diferencias significativas en los resultados de resistencia. Por ejemplo, los especímenes inapropiadamente curados entre 90 y 100 °F (32 a 38°C) desarrollarán su resistencia a una tasa diferente que los especímenes curados en el rango de temperatura inicial especificada de 60 a 80°F (16 a 27°C) requerido por la norma ASTM C-31.

Procedimientos de prueba para cilindros de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) usando concreto con un revenimiento igual o mayor de 1 pulgada (25 mm).

- a. Utilice una pequeña herramienta para colocar el concreto en el molde. Tenga cuidado en distribuir el material uniformemente alrededor del perímetro del molde.
- b. Para la primera capa, llene el molde aproximadamente 1/3 de su volumen
- c. Varille la capa 25 veces en todo su espesor. Distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversal del molde.

- d. Golpee ligeramente el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo de hule (o con la mano abierta si se usa un molde de calibre delgado de un solo uso) para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- e. Para la segunda capa, llene el molde aproximadamente  $\frac{2}{3}$  de su volumen.
- f. Varille la capa 25 veces, penetrando la capa subyacente aproximadamente 1 pulgada (25 mm), distribuya el varillado uniformemente en toda la sección transversal del molde.
- g. Golpee ligeramente el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo de hule (o con la mano abierta si se usa un molde de calibre delgado de un solo uso) para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- h. Para la tercera capa, agregue una cantidad de concreto que llene el molde después de la compactación.
- i. Varille la capa 25 veces, penetrando la capa subyacente aproximadamente 1 pulgada (25 mm), distribuya uniformemente el varillado en toda la sección trasversal del molde.
- j. Golpee ligeramente el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo de hule (o con la mano abierta si se usa un molde de calibre delgado y de un solo uso) para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación.
- k. Ajuste el nivel del concreto de los moldes sub llenados o sobre llenados de ser necesario.

- l. Retire el exceso de concreto con la varilla de compactación, o con una plana de madera o una llana según sea apropiado, para producir una superficie nivelada y lisa.
- m. Verifique que el molde del espécimen haya sido marcado para identificar el concreto que representa.
- n. Inmediatamente después del acabado, procure protección para evitar la pérdida de humedad de la muestra y lleve los especímenes a un lugar para el curado inicial y su almacenamiento.



## **5. EXTRACCIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO**

La extracción y ensayo de núcleos de concreto se lleva a cabo cuando se tiene duda del concreto colocado o la edificación ha presentado problemas de fisuras o grietas ya que en lo primero que se piensa es en el concreto de mala calidad o la mampostería colocada no es de buena calidad ya que es en estos puntos donde se evidencia la grieta o la fisura y lo mismo sucede en un pavimento de concreto. Como es usual, la calidad del concreto en una estructura se verifica por medio del ensayo de especímenes preparados durante la construcción, a partir de muestras obtenidas del concreto fresco que ha de ser colocado en las estructura. Estos especímenes tienen forma y tamaño definidos y se moldean, curan y ensayan de acuerdo con métodos estándar ASTM C-31, y ASTM C-39, representativos de la resistencia potencial del concreto entregado en la obra.

Por otra parte, estudios realizados en estructuras terminadas, muestran que los ensayos de estos especímenes no proporcionan una medida cuantitativa exacta de la resistencia del concreto utilizado, ya que la resistencia a compresión del concreto medida a partir de núcleos extraídos de la estructura difiere de la proporcionada por cilindros moldeados, curados en húmedo y ensayados a la misma edad. La magnitud de la diferencia, dependerá en gran medida de la eficacia del curado en el campo y las dimensiones del núcleo.

Cuando los resultado de los ensayos de los especímenes estándar, no cumplen estadísticamente con la resistencia especificada del concreto, según los criterios establecidos en el reglamento ACI 318 y la revisión de seguridad

en la estructura indica deficiencias importantes, queda el recurso de verificar la resistencia del concreto en la estructura mediante el ensayo de núcleos, cuya planificación (cantidad, zona, evaluación) debe hacerse con cuidado. En los casos en los que los núcleos no alcancen el nivel de resistencia a compresión especificado, en el que se basan los cálculos de diseño, no será motivo de alarma, a menos que la deficiencia sea excesiva. En realidad, núcleos de tamaños diferentes obtenidos del mismo sector de concreto pueden mostrar notables variaciones en el grado de resistencia. El diseño estructural proporciona un cierto margen de seguridad, que cubre parcialmente la deficiencia originada por el tratamiento del concreto en la obra en cuanto a protección y curado. Sin embargo, cuando la seguridad de la estructura está en duda, se requerirá de medidas correctivas, como puede ser reforzarla, antes que pensar someterla a una prueba de carga.

Los cilindros bien elaborados y curados en condiciones de obra pueden proporcionar información útil, proporcionan la resistencia más representativa del concreto en la estructura, pero no reflejan cuantitativamente la resistencia de los núcleos de concreto, ya que estos pueden tener una resistencia hasta 7% menor, atribuida al efecto del corte con broca de diamante. Los núcleos de concreto de estructuras bien curadas pueden presentar una resistencia hasta 10% inferior a la de los cilindros curados en condiciones de obra y hasta 21% menos cuando la estructura y los cilindros se curaron en condiciones deficientes. Se concluye entonces, que los cilindros no se ven afectados adversamente, por un curado deficiente.

Muchos ensayos destructivos y no destructivos son usados en los procesos de evaluación de la resistencia del concreto endurecido. De todos

estos ensayos, el reglamento ACI recomienda efectuar pruebas de resistencia a la compresión en núcleos como una medida directa de la resistencia. El reglamento sin embargo, no especifica el tamaño del núcleo a ser taladrado y ensayado. Las muestras para las pruebas de resistencia de cada clase de concreto colado deben tomarse por lo menos una vez al día, por lo menos una vez cada 115 m<sup>3</sup> de concreto y por lo menos una vez cada 465 m<sup>2</sup> de superficie de losas y muros. Una prueba de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados a 28 días o la edad de prueba designada para la determinación de la resistencia especificada,  $f'c$ .

El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto será considerado satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

- a. El promedio de todas las series de tres pruebas de resistencia consecutivas es igual o superior a la resistencia especificada,  $f'c$ .
- b. Ningún resultado individual de la prueba de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que  $f'c$  por más de 35 Kg/cm<sup>2</sup>

Si cualquier prueba de resistencia de cilindros curados en el laboratorio es menor que el valor especificado de  $f'c$  por más de 35 Kg/cm<sup>2</sup> o si las pruebas de cilindros curados en el campo indican deficiencias de protección y de curado, deberán tomarse medidas para asegurarse que no se pone en peligro la capacidad del carga de la estructura. Si se confirma que el concreto es de baja resistencia y los cálculos indican que la capacidad de carga se ha reducido significativamente, se pueden requerir pruebas de núcleos extraídos de la zona en cuestión de acuerdo con el método ASTM C-42 . En esos casos

deben tomarse tres núcleos por cada resultado de prueba de resistencia que sea menor de  $f'c$  por más de  $35 \text{ Kg/cm}^2$ .

Si el concreto de la estructura va a estar seco en las condiciones de servicio, los núcleos deberán secarse al aire (temperatura entre  $14$  y  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , humedad relativa menor del  $60\%$ ) durante 7 días antes de la prueba y deberán probarse secos. Si el concreto de la estructura va a estar más que superficialmente húmedo en las condiciones de servicio, los núcleos deberán sumergirse en agua por lo menos durante 40 horas y probarse húmedos.

El concreto de la zona representada por las pruebas de núcleos se considerará estructuralmente adecuado si el promedio de los tres núcleos es por lo menos igual al  $85\%$  de  $f_c$  y ningún núcleo tiene una resistencia menor del  $75\%$  de  $f_c$ . A fin de comprobar la precisión de las pruebas, las zonas representativas de resistencias irregulares de los núcleos pueden probarse adicionalmente.

Se debe realizar una planificación para obtener las muestras, tomando en consideración tres aspectos importantes: el equipo a utilizar en buenas condiciones de operación, el personal que interviene en cada proceso debe ser calificado y la ubicación de los sitios para la obtención de los núcleos debe ser realizada por el ingeniero estructural responsable del diseño o que labora para la empresa que solicita el servicio a un laboratorio. También será necesario tomar todas las medidas de seguridad para evitar accidentes, el uso de casco, guantes, protección para los ojos y oídos, zapatos adecuados, chalecos, así como señalizar la zona de trabajo, utilizar la herramienta adecuada, etc.

El equipo puede ser operado con motor de gasolina o con energía eléctrica, dependiendo de la posición de los núcleos a obtener. En paredes, columnas y vigas, se utilizan equipos operados con energía eléctrica que suelen ser más livianos para su fijación al piso o a la pared por medio de vacío. El estado de deterioro de la broca tiene una importancia decisiva para la toma de muestras. Si el cabezal con dientes de diamante está en malas condiciones, el núcleo no puede ser cortado y sacado libremente, el taladrado debe realizarse con suficiente agua y con la máquina firmemente conectada al elemento estructural; de no hacerlo así los especímenes de prueba serán dañados por el calentamiento o sufrirán variaciones en el diámetro, dando resultados falsos.

El personal que extrae el núcleo debe ser de experiencia calificada y tener conciencia de las consecuencias de una obtención inapropiada. El experto que más tarde evaluará el núcleo debe estar presente en el momento que se toma la muestra, es importante que observe la operación y se asegure de que se está ejecutando apropiadamente.

En el procedimiento de muestreo deben obtenerse los núcleos por medio de taladrado húmedo, teniendo cuidado de no ocasionar daños a la estructura. Cuando haya presencia de grietas, no bastará con tomar muestras del área agrietada, porque las mismas se caerían en pedazos. Cuando haya de probarse la resistencia a compresión, deberán obtenerse núcleos adicionales en áreas libres de grietas. Las muestras no deben ser marcadas solamente con números, hay que identificarlos por medio de dos letras relativas al proyecto y luego la numeración. En miembros estructurales que se cuelan en posición vertical y están sujetos a compresión, la parte superior del elemento debe ser la que se investigue, aún cuando esto implique dificultades. En vigas,

de preferencia se deben explorar los tercios extremos de los claros y regiones cercanas a los apoyos y obtener núcleos del concreto ubicado a la mitad del peralte.

El método de ensayo ASTM C-42 cubre la obtención, preparación y ensayo de núcleos taladrados de concreto para la determinación de la longitud según norma ASTM C-39, o tensión por partidura según norma ASTM C-496 y vigas aserradas de concreto para determinar la resistencia a la flexión según norma ASTM C-78.

Generalmente los especímenes son obtenidos cuando existe duda respecto a la calidad del concreto en el lugar, debido a ensayos con resultados estadísticos de baja resistencia en los cilindros elaborados durante la construcción o signos de peligro en la estructura. La resistencia del concreto es afectada por su ubicación en un elemento estructural, el concreto del fondo tiende a ser más resistente que el de la superficie. La resistencia de los núcleos también es afectada por la orientación del núcleo relativa a la colocación del concreto sobre el plano horizontal, con la resistencia tendiendo a ser menor cuando es medida paralela al plano horizontal, lo cual puede ser considerado en la planificación de las localizaciones para obtener muestras y en la comparación de los resultados de resistencia.

La resistencia del concreto medida por ensayos de núcleos es afectada por la cantidad y distribución de humedad en el espécimen al momento del ensayo. No hay un procedimiento estándar para asegurar que un espécimen, al momento de ensayo, estará en idéntica condición de humedad como el

concreto en la estructura. Tampoco hay una relación universal entre la resistencia a compresión de un núcleo y la correspondiente resistencia a compresión de cilindros moldeados y curados en forma estándar. La relación es afectada por varios factores tales como el nivel de esfuerzos del concreto, la temperatura del lugar y la historia del curado húmedo. Se asume que la resistencia del núcleo es generalmente 85% de la correspondiente resistencia de cilindros estándar, pero esto no es aplicable a todas las situaciones.

## **Muestreo**

Las muestras de concreto endurecido para usarla en la preparación del espécimen de prueba para la resistencia no deberán ser tomadas hasta que el concreto se ponga bastante duro para permitir que la muestra se remueva sin perturbar el enlace entre el mortero y el agregado grueso. Se establece que el concreto no deberá ser removido antes de catorce días de edad.

Los especímenes conteniendo refuerzo embebido no deberán ser usados para determinar la resistencia a compresión, tensión por partidura o flexión. Es usual que aparezca refuerzo en el núcleo, en ángulo recto con la dirección de aplicación de la carga de compresión, su efecto en la resistencia es una reducción que en promedio no debe exceder de 4%, aunque como veremos en el análisis de resultados, el porcentaje dependerá de factores como el diámetro del acero y de la posición en que éste se encuentre dentro del núcleo, de tal manera que éstos factores también producen un incremento en la dispersión de los valores alcanzados.

El espécimen del núcleo será taladrado perpendicular a la superficie y separado de juntas o bordes. La dirección en que se obtienen los núcleos, en relación con la dirección del colado o en la que actúan las cargas sobre el concreto, no tiene efecto significativo en la resistencia a compresión del concreto.

### **Número de núcleos**

La estimación de la resistencia del concreto a compresión se hace a partir de resultados de ensayos en especímenes obtenidos de diferentes miembros estructurales (losas, vigas, columnas, paredes) y deben tomarse al menos tres especímenes de cada tipo de elemento estructural involucrado. La estimación se debe basarse en al menos diez muestras (cada muestra de tres especímenes). Es deseable que el número de especímenes de ensayo sea suficientemente grande (alrededor de treinta), para que sea posible calcular el valor característico de la resistencia del concreto en la estructura ( $f'_c$ ), que en una distribución normal con dispersión  $\pm 3\sigma$ , corresponde a una probabilidad del 2% de no alcanzar la resistencia media estimada, con 2.05 veces la desviación estándar.

Si la obtención de los núcleos se hace con el objeto de comprobar el nivel de resistencia del concreto en la estructura, se deben obtener al menos tres núcleos de la zona donde los cilindros estándar presentan resultados bajos, ya sea que no cumplan con el requisito de verificación de muestras individuales o con el promedio de las muestras consecutivas, o con ambas.

## **Diámetro de los núcleos taladrados**

La medida de la longitud de los núcleos taladrados para determinar el espesor de pavimentos, losas, paredes u otro elemento estructural, deberán tener un diámetro de al menos 95 mm o sea 3.75 pulgadas.

El diámetro del núcleo para determinación de la resistencia a la compresión en soporte de cargas de miembros estructurales no portantes o cuando no es posible obtener núcleos con relación L/D igual o mayor que 1, diámetros de núcleos menores de 94 mm o sea 3.70 pulgadas, no son prohibitivos.

El diámetro mínimo preferido del núcleo es tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso y puede llegar a ser hasta dos veces el tamaño máximo. Cabe mencionar que mientras más pequeña sea la relación diámetro a tamaño del agregado grueso, menor será la resistencia que se determine al ensayar el núcleo.

## **Longitud**

La longitud preferida del espécimen extraído es entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro. Si la relación L/D del núcleo excede 2.1 hay que reducir la longitud del núcleo. Núcleos con relación L/D igual o menor que 1.75 requiere corrección para medir la resistencia. No se requiere factor de corrección de

resistencia para relación L/D mayores de 1.75. Un núcleo que tiene un longitud máxima de menos del 95% de su diámetro antes de extraído o una longitud menor que su diámetro después de extraído con los extremos desgastados, no debe ser ensayado.

### **Condiciones de humedad**

Si bajo condiciones de servicio, el concreto de la estructura permanece seco, los núcleos taladrados y cortados a la medida se secan al aire por un período de 7 días antes de su ensayo, a una temperatura comprendida entre 15 y 27 °C, humedad relativa inferior al 60% y se ensayan en condición seca.

Si el concreto en la estructura bajo condiciones de servicio está más que superficialmente húmedo, los núcleos se sumergen en agua saturada con cal a  $23 \pm 1.7$  °C, al menos por 40 horas previas a su ensayo.

### **Efecto de la obtención de núcleos en el elemento estructural**

Si el área de la sección transversal de una columna se reduce hasta 30% por extracción de núcleos, la capacidad de carga del elemento es directamente proporcional al área de la sección transversal remanente en el punto donde se obtuvo el núcleo. Si se obtienen varios núcleos de la misma columna, uno abajo del otro, el efecto en la reducción de la capacidad, es igual al mencionado anteriormente, siempre y cuando la distancia entre los núcleos sea al menos 4 veces el diámetro del agujero y los huecos queden sobre el eje longitudinal de la columna. Si el núcleo se obtiene excéntricamente, la

capacidad de carga se reduce en una proporción mayor a la que se reduce su área.

Después de la extracción, es conveniente resanar los agujeros que quedan en la estructura, usando un concreto de mayor resistencia con un aditivo expansor para eliminar la contracción por secado.

### **Aserrado de los extremos y cabeceado**

Después de extraer el núcleo, se corta de tal forma que su longitud sea al menos igual al diámetro. Si los extremos de los núcleos no están de acuerdo con los requisitos de perpendicularidad y planeidad, serán aserrados utilizando una sierra con disco de diamantes en un lapso de 2 días después de obtenidos y luego cabeceados de acuerdo con la práctica ASTM C-617.

### **Cálculos**

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de cada espécimen se usa el área de la sección transversal basada en el diámetro promedio del espécimen. Si la relación  $L/D$  es 1.75 o menos, hay que corregir el resultado multiplicando por el adecuado factor de corrección mostrado a continuación o interpolando (ASTM C-42).

Tabla VI. Factores de corrección para determinar resistencias a compresión de núcleos de concreto.

Relación L/D	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
F. C.	1.00	0.98	0.96	0.93	0.87

Estos factores de corrección se aplican a concreto de baja densidad, entre 1600 y 1920 Kg./m<sup>3</sup> (100 y 120 lb./pie<sup>3</sup>) y para concreto de densidad normal. Se aplican a concreto seco y húmedo para esfuerzos entre 2,000 y 6,000 psi (14 a 42 Mpa) los resultados indican que los factores de corrección pueden ser más grandes que los valores listados.

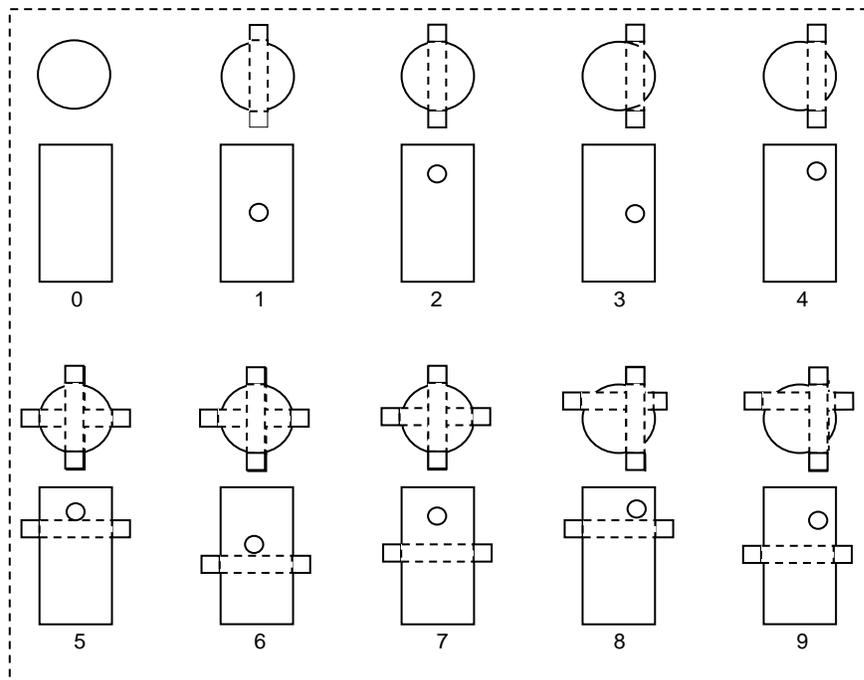
## 6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS DE LABORATORIO

### 6.1 Diseño para la elaboración de los núcleos de concreto

La base para la elaboración del presente trabajo, es la variación en la posición del acero dentro de los núcleos de concreto, de tal manera que se trabajaron nueve posiciones diferentes, aparte de la inclusión de un testigo patrón sin acero; el estudio comprende también el efecto del diámetro de las varillas de acero, de tal manera que las nueve posiciones entran en combinación con dos diámetros elegidos de varillas de acero, siendo éstos en particular los diámetros de  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ".

Las dimensiones de los testigos están basadas en una relación de largo a diámetro de 2:1; que en nuestro caso particular es de 4" de largo por 2" de diámetro.

Figura 16 . Posiciones del acero en los testigos de concreto.



## 6.2 Elaboración de piezas de moldes para los núcleos de concreto según sus posiciones

Para evitar ratoneras por causa del tamaño máximo del agregado grueso se determinó el tamaño máximo adecuado a pasar por las aberturas dejados entre el acero y el molde. Esto motivó a realizar un análisis físico de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto.

Figura 17. En la figura se puede observar los moldes de plástico con las varillas de acero incrustadas, en ella solamente aparecen dos posiciones y acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada.



Figura 18. En la figura se presentan las nueve posiciones trabajadas con acero incrustado de ½ pulgada, además de los seis moldes patrón

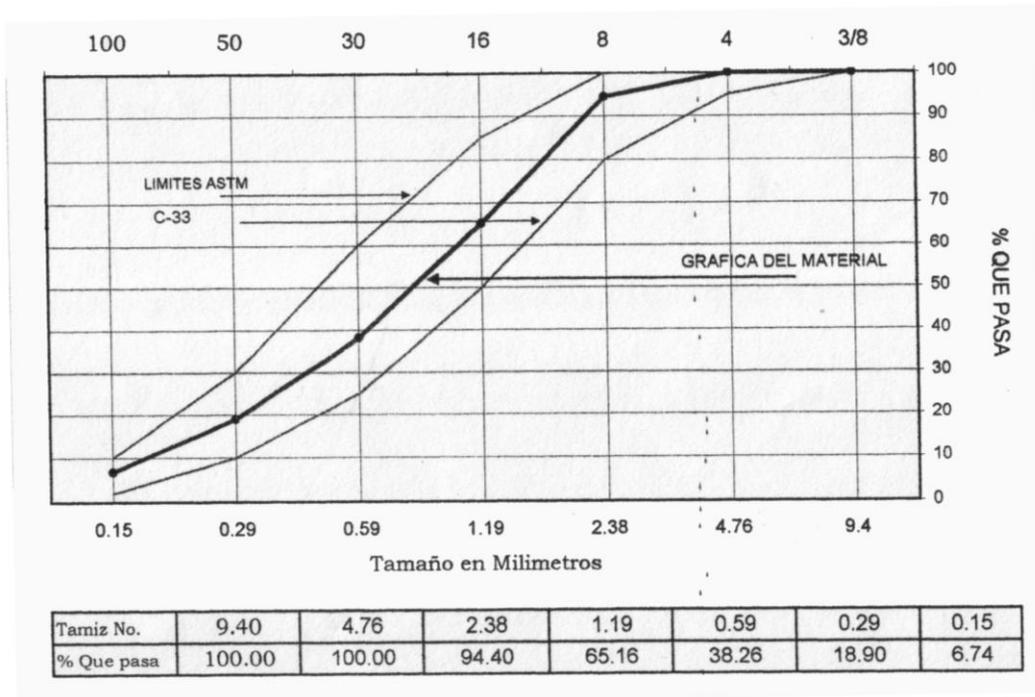


### 6.3 Análisis físicos de los agregados utilizados para realizar la mezcla de concreto.

Características físicas de agregado fino:

Densidad relativa.....	2.68
Masa unitaria (kg/m <sup>3</sup> ).....	1730.39
Masa unitaria suelta (kg/m <sup>3</sup> ).....	1627.51
Porcentaje de vacíos (%).....	35.37
Porcentaje de absorción.....	0.45
Contenido de materia orgánica.....	1
Pasa tamiz 200 (%).....	2.56
Modulo de finura.....	2.77

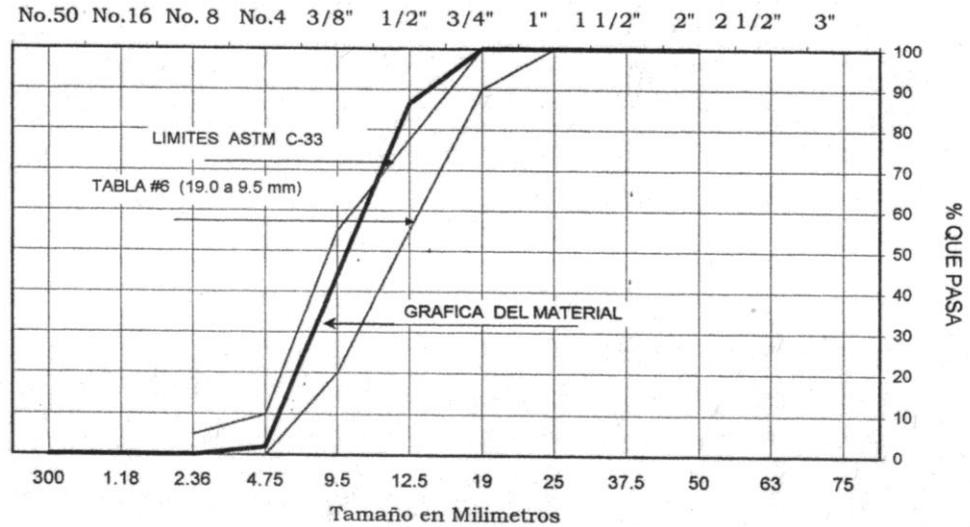
Tabla VII. Análisis granulométrico de agregado fino.



Características físicas de agregado grueso:

Densidad relativa.....	2.77
Masa unitaria (kg/m <sup>3</sup> ).....	1636.93
Masa unitaria suelta (kg/m <sup>3</sup> ).....	1520.86
Porcentaje de vacíos (%).....	40.94
Porcentaje de absorción.....	0.43

Tabla VIII. Análisis granulométrico de agregado grueso.



Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100.00	100.00	86.40	43.99	1.89	0.00	0.00

#### 6.4 Diseño teórico de mezclas de concreto.

En la presente fase de diseño teórico se realizó en base al método propuesto por el ACI 211.1 (American Concrete Institute) y PCA (Portland Cement Association). El cual se obtuvo la siguiente formulación. (Ver capítulo 3)

Relación A/C = 0.62

Sacos/m<sup>3</sup> = 8 → 340 kg/m<sup>3</sup>

Agua = → 211 kg/m<sup>3</sup>

## 6.5 Elaboración de mezcla y núcleos de concreto.

Para la realización de la mezcla de concreto se siguieron procedimientos de normalización, personal capacitado y equipo adecuado para obtener resultados satisfactorios en los objetivos planteados para el presente trabajo de tesis. (Ver capítulo 4).

Figura 19. Determinación del contenido de aire en la mezcla de concreto, según norma ASTM C – 231.



Figura 20. Determinación de la consistencia (fluidez) del concreto, según norma ASTM C – 143.



Figura 21. Medición de la diferencia de la altura inicial del molde con la altura final de la mezcla de concreto habiendo retirado el molde, según norma ASTM C – 143.



Figura 22. Proceso de compactación de la mezcla de concreto dentro de los moldes, por medio del vibrador.



Figura 23. Etapa de desencofrado del núcleo de concreto, ya solidificado.



Figura 24. Núcleo de concreto ya listo para la etapa de curado en agua para lograr diferentes edades de curado a 20, 28 y 56 días.



#### 6.6 Preparación y ensayos de núcleos de concreto.

La preparación de los núcleos de concreto para su ensayo a compresión se realizó bajo normas ASTM C-39, ASTM C-42, equipo de laboratorio y personal especializado en dicho trabajo.

Figura 25. Nivelación de los extremos de los núcleos de concreto con azufre para ser sometidos a ensayo a compresión.



Figura 26. Máquina de ensayo para especímenes de concreto en ensayo a compresión.



## 6.7 Resultados de ensayos a compresión.

Figura 27. Núcleo de concreto ya ensayado a compresión, puede notarse la falla en el cabeceado de azufre, aunque fallado, las grietas en éste núcleo no son muy perceptibles.



Figura 28. La figura muestra los cuatro núcleos patrón ya ensayados, las fallas están resaltadas en con tiza color lila.





Tabla IX. ACERO: ¼", EDAD: 20 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio ( lb/pulg <sup>2</sup> )	Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	( N/mm <sup>2</sup> )	( lb/pulg <sup>2</sup> )		
patrón patrón	31.2	4,523.36	31.00	4,495.92 (A)
	30.8	4,468.47		
1	30.1	4,369.65	29.20	4,369.65
1	28.3	<b>4,111.65</b>		
2	27.8	<b>4,029.30</b>	28.40	4,204.97
2	29.0	4,204.97		
3	31.2	<b>4,528.85</b>	30.95	4,446.51
3	30.7	4,446.51		
4	29.9	4,342.21	29.95	4,344.96
4	30.0	4,347.70		
5	27.4	3,968.92	27.40	3,968.92
5	0.0	3,968.92		
6	31.2	4,523.36	31.20	4,523.36
6	31.2	4,523.36		
7	28.9	4,193.99	28.95	4,196.74
7	29.0	4,199.48		
8	26.6	<b>3,859.13</b>	27.20	4,034.79
8	27.8	4,034.79		
9	27.4	3,968.92	27.40	3,968.92
9	0.0	3,968.92		
Promedio ( $\bar{X}$ )				4,228.76 (B)
Desviación estándar ( $\sigma$ )				200.53
Coeficiente de Variación (cv)				5 %
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de ¼" incrustado				6 %

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

Tabla X. ACERO: ½", EDAD: 20 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio		Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	(N/mm <sup>2</sup> )	(lb/pulg <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(lb/pulg <sup>2</sup> )	
patrón patrón	31.2 30.8	4,523.36 4,468.47	31.00	4,495.92 (A)	
1	31.5 28.0	<u>4,572.77</u> 4,067.73	29.75	4,067.73	9.52
2	32.7 32.2	<u>4,742.94</u> 4,666.09	32.45	4,666.09	-3.79
3	30.1 28.8	4,364.16 <u>4,177.52</u>	29.45	4,364.16	2.93
4	25.6 26.6	<u>3,716.40</u> 3,864.62	26.10	3,864.62	14.04
5	25.4 0.0	3,683.46 3,683.46	12.70	3,683.46	18.07
6	33.0 35.5	4,781.37 <u>5,154.66</u>	34.25	4,781.37	-6.35
7	30.4 23.8	4,408.08 <u>3,458.39</u>	27.40	4,408.08	1.95
8	26.7 29.1	<u>3,875.60</u> 4,215.95	27.90	4,215.95	6.23
9	30.8 33.3	4,473.96 4,836.26	32.05	4,473.96	0.49
Promedio ( $\bar{X}$ )					4,280.60 (B)
Desviación estándar ( $\sigma$ )					360.40
Coeficiente de Variación (cv)					8.42 %
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de ½" incrustado					5 %
					$((A-B)/A)*100$

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

Tabla XI. ACERO: ¼", EDAD: 28 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio ( lb/pulg <sup>2</sup> )	Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	( N/mm <sup>2</sup> )	( lb/pulg <sup>2</sup> )		
patrón patrón	32.3 33.5	4,688.05 4,858.22	32.90 4,773.14 (A)	
1	33.9	<u>4,918.61</u>		
1	30.8	4,462.98	32.35	6.50
2	30.0	<u>4,347.70</u>		
2	32.1	4,655.11	31.05	2.47
3	34.9	<u>5,066.82</u>		
3	34.0	4,929.58	34.45	-3.28
4	31.1	4,490.42		
4	18.1	2,623.99	24.55	5.92
5	28.0	4,062.24		
5	26.3	3,809.72	27.15	14.89
6	32.3	4,688.05		
6	30.6	<u>4,441.02</u>	31.45	1.78
7	29.8	<u>4,320.25</u>		
7	30.8	4,462.98	30.30	6.50
8	26.6	<u>3,864.62</u>		
8	30.0	4,353.19	28.30	8.80
9	24.6	<u>3,573.67</u>		
9	28.3	4,100.67	26.45	14.09
Promedio ( $\bar{X}$ )				4,467.25 (B)
Desviación estándar ( $\sigma$ )				276.09
Coficiente de Variación (cv)				6.18%
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de ¼" incrustado				$((A-B)/A)*100$ 6 %

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

Tabla XII. ACERO: ½", EDAD: 28 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio		Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	(N/mm <sup>2</sup> )	(lb/pulg <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(lb/pulg <sup>2</sup> )	
patrón patrón	32.3	4,688.05	32.90	4,773.14 (A)	
	33.5	4,858.22			
1	29.5	4,281.82			
	31.5	4,561.79	30.50	4,561.79	4.43
2	35.0	<u>5,072.31</u>			
	33.5	4,858.22	34.25	4,858.22	-1.78
3	31.5	4,572.77			
	35.8	5,193.08	33.65	4,572.88	4.20
4	28.0	<u>4,062.24</u>			
	29.3	4,248.89	28.65	4,248.89	10.98
5	21.9	<u>3,172.94</u>			
	26.9	3,903.05	24.40	3,903.05	18.23
6	29.0	<u>4,210.46</u>			
	30.5	4,419.06	29.75	4,419.06	7.42
7	28.7	4,155.56			
	27.5	<u>3,985.39</u>	28.10	4,155.56	12.94
8	31.8	4,611.19			
	26.5	3,837.17	29.15	4,611.19	3.39
9	29.7	4,314.76			
	37.2	5,401.68	33.45	4,314.76	9.60
Promedio (X̄)					4,405.03 (B)
Desviación estándar (σ)					284.50
Coeficiente de Variación (cv)					6.46 %
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de ½" incrustado					8 %
					((A-B)/A)*100

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

Tabla XIII. ACERO: 1/4", EDAD: 56 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio ( lb/pulg <sup>2</sup> )	Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	( N/mm <sup>2</sup> )	( lb/pulg <sup>2</sup> )		
patrón patrón	39.1 40.2	5,678.14 5,825.92	5,752.03 (A)	
1	38.9	5,644.03	5,607.09	2.52
1	38.4	5,570.14		
2	29.6	<u>4,291.28</u>		
2	35.2	5,104.07	5,104.07	11.26
3	34.1	4,939.24		
3	34.1	4,950.61	4,944.93	14.03
4	19.9	2,881.70		
4	27.7	4,021.14	4,024.14	30.04
5	30.7	<u>4,450.43</u>		
5	32.0	4,643.68	4,643.68	19.27
6	38.1	5,530.36		
6	37.0	<u>5,359.84</u>	5,530.36	3.85
7	34.3	4,973.34		
7	34.3	4,973.34	4,973.34	13.54
8	18.7	<u>2,705.50</u>		
8	33.3	4,836.93	4,836.93	15.91
9	37.6	5,450.78		
9	27.0	3,921.84	5,450.78	5.24
Promedio ( $\bar{X}$ )			5,012.81 (B)	
Desviación estándar ( $\sigma$ )			496.49	
Coefficiente de Variación (cv)			9.90%	
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de 1/4" incrustado				13 %
				$\frac{((A-B)/A)*100}{}$

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

Tabla XIV. ACERO: ½", EDAD: 56 días

Posición #	Resistencia		Resistencia Promedio		Factor de corrección de resistencias para testigos de concreto con acero incrustado.
	( N/mm <sup>2</sup> )	( lb/pulg <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( lb/pulg <sup>2</sup> )	
patrón patrón	39.1 40.2	5,678.14 5,825.92	39.65	5,752.03 (A)	
1	32.6 21.5	4,723.25 3,114.73	27.05	4,723.25	17.89
2	27.7 40.4	4,012.78 <u>5,865.70</u>	34.05	4,012.78	30.24
3	38.6 40.7	5,604.25 <u>5,899.80</u>	39.65	5,604.25	2.54
4	21.6 30.4	<u>3,131.78</u> 4,416.33	26.00	4,416.33	23.22
5	34.1 30.4	<u>4,950.64</u> 4,404.96	32.25	4,950.61	13.93
6	34.2 34.1	4,956.29 4,939.24	34.15	4,947.77	13.98
7	33.4 22.3	4,848.30 <u>3,234.09</u>	27.85	4,848.30	15.71
8	24.7 36.4	<u>3,586.49</u> 5,285.95	30.55	5,285.95	8.10
9	35.4 39.9	5,132.49 <u>5,786.13</u>	37.65	5,132.49	10.77
Promedio ( $\bar{X}$ )					4,880.19 (B)
Desviación estándar ( $\sigma$ )					468.41
Coeficiente de Variación (cv)					9.60 %
Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia para testigos de concreto con acero de ½" incrustado					15 %
					$((A-B)/A)*100$

**Nota:** Los resultados enmarcados con negrilla y subrayados, son datos no considerados en el cálculo de la variación debido a lo incongruente en la variación de los mismos, al compararlos con los demás resultados

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Los resultados de los ensayos de laboratorio se analizaron estadísticamente considerando el criterio de no sobrepasar el coeficiente de variación en 10%, algunos datos hicieron exceder el límite del coeficiente de variación establecido absteniéndose no tomarlos en cuenta en los cálculos para mantener la confiabilidad del estudio de investigación. Esto quiere decir, mientras más cercanos estemos a la media la desviación estándar será mínima y por lo mismo el coeficiente de variación disminuirá manteniéndose en una tolerancia adecuada para el análisis estadístico.

Los datos de laboratorio que no se tomaron en cuenta en los cálculos estadísticos, se debió a criterios en los que no encajaban con los demás resultados, debido a una serie de factores probables durante del estudio desde la realización de la mezcla hasta los ensayos de resistencia a compresión. Esto hace reflexionar de la importancia de la aplicación de la estadística en la ingeniería para recapacitar en la toma de decisiones y ahorro de tiempo para determinado estudio.

7.2 En la evaluación visual del tipo de falla y de los resultados de las resistencias de los testigos o núcleos de concreto se determinó que los testigos con acero incrustado el esfuerzo real es menor relacionado con los esfuerzos de los testigos patrón o sin acero. El tipo de falla para los testigos patrón es en diagonal y la forma es en cono, mientras que los núcleos con acero incrustado su tendencia fueron a fallar en dos tipos,

predominando la diagonal en todo alrededor en donde no existe acero y falla vertical paralelo a la carga aplicada de la máquina de ensayo en los lugares donde existe el acero incrustado.

La fórmula para determinar el Pdr = porcentaje de disminución de la resistencia del testigo con acero en relación con los testigos patrón es de la siguiente manera.

$$Pdr = \left( \frac{R_{\text{patrón}} - R_{\text{con acero}}}{R_{\text{patrón}}} \right) * 100$$

En donde:

Rp = Resistencia patrón

R con acero = Resistencia con acero incrustado.

Pdr = Porcentaje de disminución de resistencia.

7.3 La procedencia y la calidad de los agregados se indica en el capítulo 6 el cual fueron utilizados para la presente tesis. El tipo de cemento utilizado es UGC (Uso General en la Construcción) Cemento Pórtland Puzolánico Norma ASTM C 1157 Ttype GU – 28 Norma COGUANOR NGO 41001

Tipo IP en donde I= Uso General en la Construcción y P= Puzolánico. En el diseño teórico de mezcla se estipuló la resistencia a 28 días de  $f'c=4000$  psi ( $27.6$  N/mm<sup>2</sup>)  $\approx f'cr=4500$  psi ( $31.0$  N/mm<sup>2</sup>) del cual se obtuvieron resultados promedios de  $4700$  psi ( $32.4$  N/mm<sup>2</sup>) a 28 días pero al realizar el análisis de resultados a las edades de 56 días se obtuvieron resistencias en promedio de  $5700$  psi ( $39.3$  N/mm<sup>2</sup>), estos resultados son indicadores en los que el proceso de endurecimiento del concreto utilizando este tipo de cemento en las edades iniciales es lenta pero a partir de la edades de 28 días el incremento es mayor.

7.4 En el análisis de resultados en cada una de las edades se determinó lo siguiente:

Para la edad de 20 días la resistencia promedio del patrón es de  $4495.92$  psi ( $31.0$  N/mm<sup>2</sup>) mientras que el esfuerzo promedio con acero incrustado de  $\frac{1}{4}$  de pulgada es de  $4228.76$  psi ( $29.2$  N/mm<sup>2</sup>) con un coeficiente de variación de 5% estando por debajo del estadísticamente establecido del 10%, para este caso el porcentaje promedio de disminución del esfuerzo (Pdr), es del 6%,

Específicamente, el factor de corrección para los núcleos de concreto para la edad de 20 días y acero de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, es igual al incremento del Pdr al valor del esfuerzo obtenido del núcleo de concreto con acero incluido,  $(1+0.06)$ .

La manera de utilizar dicho factor para obtener la resistencia real es la siguiente:

$$1.06 * \text{Resistencia obtenida con acero incrustado} = \text{Resistencia aproximada real}$$

$$1.06 * 4229.0 \text{ psi} = 4482.74 \text{ psi} (30.9 \text{ N/mm}^2)$$

El cual se aproxima al esfuerzo real promedio de 4496 psi (31.0 N/mm<sup>2</sup>).

Tabla XV. Resumen de los cálculos estadísticos con sus respectivos factores de corrección:

Posición de acero incrustado	Diámetro Del Acero Incrustado (pulgadas)	Edad de la muestra (días)	Resistencia Patrón Psi (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio con Acero incrustado Psi (N/mm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar de Resistencias con acero incrustado Psi (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación en base a resistencias con acero incrustado (%)	Factor de corrección en testigos o núcleos de Concreto
Promedio	¼	20	4495.92 (31.0)	4228.76 (29.16)	200.53 (1.38)	4.7	1.06
Promedio	½	20	4495.92 (31.0)	4280.60 (29.51)	360.4 (2.48)	8.4	1.05
Promedio	¼	28	4773.14 (32.9)	4467.25 (30.80)	276.09 (1.9)	6.2	1.06
Promedio	½	28	4773.14 (32.9)	4405.03 (30.37)	284.5 (1.96)	6.5	1.08
Promedio	¼	56	5752.03 (39.66)	5012.81 (34.6)	496.49 (3.42)	9.9	1.13
Promedio	½	56	5752.03 (39.66)	4880.19 (33.65)	468.41 (3.23)	9.6	1.15

Los factores de corrección son obtenidos de los cálculos de las tablas XI a XIV, de las páginas 70 a 75.

En las edades de 20 días la estabilización de la resistencia del concreto es relativamente variable con el cemento utilizado, probablemente a esto se debe que los primeros factores no mantengan una correlación lógica, sin embargo a partir de las edades de 28 días se marcan factores de corrección en aumento conforme al diámetro de la varilla y a la edad correspondiente, es decir,

conforme aumenta la edad de ensayo de resistencia a compresión y el aumento del diámetro de la varilla incrustada en el testigo de concreto de la misma manera corresponde en el aumento de los factores de corrección para los núcleos de concreto. En cada uno de los ensayos realizados se observó que la falla se obtuvo por concentración de esfuerzo exactamente en donde se encuentra la varilla de acero incrustada haciendo disminuir la resistencia del valor real en relación a la resistencia de núcleo

La extracción de testigos o núcleos de concreto en ningún momento deberán ejecutarse en donde se encuentra ubicado acero y máxime si el elemento estructural es de importancia para la estabilización de la edificación, deberá de realizarse un estudio previo de planificación para evitar perforar acero y utilizar equipo adecuado para localizar el acero como por ejemplo el Micro Covermeter o aún más sofisticado como el Ferroskan.

Figura 31. Ferroskan, equipo utilizado para el escaneado del acero en los elementos estructurales.



Lo recomendable es realizar todos los estudios previos a los materiales de construcción utilizados para la obra para posteriormente evitar la extracción de núcleos de concreto además de elaborar los ensayos de laboratorio bajo procedimientos de normalización ya que un ensayo erróneo implicaría en la duda de la construcción realizada y en efectuar investigaciones sobre el material ensayado y su efecto en el sistema estructural.

## CONCLUSIONES

1. Los núcleos de concreto con acero incluido evidenciaron en los resultados a compresión disminución de esfuerzos de 6% a 15% respecto a los núcleos sin acero.
2. La reducción del esfuerzo en porcentaje para el acero de  $\frac{1}{4}$  de pulgada liso a los 28 días es de 6% y 56 días es de 13%.
3. La reducción del esfuerzo en porcentaje para el acero de  $\frac{1}{2}$  de pulgada corrugado a los 28 días es de 8% y 56 días es de 15%.
4. A los resultados de resistencia de los núcleos de concreto con acero incrustado deberán aumentarse los porcentajes establecidos para obtener valores aproximados de resistencias reales del concreto.
5. La variabilidad implantada para este proyecto de investigación fue con un coeficiente de variación de no más de C.V.= 10% sobre las muestras analizadas y los obtenidos fueron de un mínimo de 4.7% y del máximo de 9.9% tomando como base los resultados de resistencia a compresión.

6. El no sobre pasar el coeficiente de variación de  $C.V. = 10\%$  del muestreo realizado hace confiar en los resultados del informe de graduación.

## RECOMENDACIONES

1. Lo prudente en el muestreo con núcleos de concreto será no barrenar el acero por dos causas importantes:
  - 1.1. Debilitamiento del elemento estructural debido al corte del acero de refuerzo.
  - 1.2. El acero incrustado en el núcleo de concreto hace disminuir la resistencia a compresión que éste soporta y por consiguiente obteniendo valores distorsionados.
  
2. Los porcentajes de disminución de resistencia a compresión encontrados para cada edad, podrían cambiar al utilizar un tipo de cemento inicial, incluirle algún aditivo reductor de agua o aditivo incluso de aire, ya que la adherencia y resistencia serán diferentes para cada edad según el material en mención usado para el concreto.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Comité 318. **Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario (ACI 318S-05)**. USA, s. e., julio 2005. 490 pp.
2. American concrete institute. **Journal of the american concrete institute**. USA, s. e., julio 1965. 864 pp.
3. Comisión federal de electricidad. **Manual de tecnología del concreto**. México, Editorial Limusa, 1997, 512 pp.
4. Downie, N. M., R. W. Heath. **Métodos estadísticos aplicados**. México, Harla, junio 1973. 373 pp.
5. Ecuté Bantes, Francisco Javier. Evaluación y variabilidad de las propiedades de los agregados de dos plantas, una en Escuintla y la otra en Tecún Umán. trabajo de graduación Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, julio 2003. 41 pp.
6. Instituto mexicano del cemento y del concreto, A. C. **Manual del técnico para pruebas al concreto en la obra grado 1**. México, s. e., noviembre 2005, 23ª. edición. 151 pp.
7. Kosmatka, Steven H. y otros. **Diseño y control de mezclas de concreto**. México, s. e., 2004. 456 pp.

8. Ortíz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. trabajo de graduación Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, julio 2004. 111 pp.
  
9. Unidad de prácticas de ingeniería y E. P. S. **Estadística**. 2ª. edición, Guatemala, Editora Educativa, enero 2003. 215 pp.

## **APÉNDICE: ILUSTRACIONES**



## PREPARACIÓN DE MOLDES



Figura 32. Piezas diseñadas para sujetar los moldes de PVC.



Figura 33. Barrenado de orificios en los moldes cilíndricos, con taladro vertical, para la inserción de las varillas de acero.



Figura 34. Vista de los moldes con las varillas de acero insertadas según la posición determinada.



Figura 35. Conjunto de moldes con acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada insertado, formando las nueve posiciones estudiadas.



Figura 36. Fabricación del marco para sujetar el conjunto de moldes.



Figura 37. Colocación de los moldes dentro del marco.



Figura 38. Moldes ya preparados para la fundición con concreto.

## PREPARACIÓN DE LA MEZCLA



Figura 39. Agregado fino una vez hecha su granulometría.



Figura 40. Agregado grueso una vez hecha su granulometría.



Figura 41. Mezcladora conteniendo los agregados fino, grueso y cemento UGC.



Figura 42. Mezcla recién hecha, lista para verterla en los moldes.

## FUNDICIÓN DE TESTIGOS



Figura 43. Vertiendo la mezcla de concreto dentro de los moldes.



Figura 44. Con una varilla se realiza el enrazado de los moldes.



Figura 45. Con la ayuda de un vibrador se logra una mayor compactación del concreto para evitar cavidades por aire atrapado dentro de la mezcla.



Figura 46. Se aplicó otro método, con la ayuda de una placa metálica para lograr vibración más uniforme.

## DESENCOFRADO DE TESTIGOS



Figura 47. Corte del molde con la ayuda de un disco de corte con punta de diamante.



Figura 48. El molde de PVC se extrae fácilmente debido a la poca adherencia del concreto al material.



Figura 49. El núcleo de concreto limpio y sin lastimaduras.



Figura 50. Núcleos de concreto listos para el curado en agua.

## ENSAYO A COMPRESIÓN DE TESTIGOS



Figura 51. Núcleos de concreto ya cabeceados con azufre para poder nivelar sus extremos.



Figura 52. Núcleo de concreto nivelado dentro de la máquina de ensayo a compresión.



Figura 53. Pistón superior de la máquina de ensayo a compresión, bajando para hacer contacto con el núcleo de concreto.



Figura 54. Núcleo de concreto ensayado, pueden observarse las fallas resultantes.

## **ANEXOS**



		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C-42		OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 1 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05														
Cliente: CETEC		Procedencia: CETEC		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio														
Dirección:		Proyecto: PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																
Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		Analista(s): EY / EO																
Teléfono:																		
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez	
														N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
1	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	104.0	111.0	2642.1	82.4	31.2	4523.36	1.000	31.2	4523.36
2	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	113.0	116.0	2642.1	85.4	32.3	4688.05	1.000	32.3	4688.05
3	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	57.000	105.0	109.0	2551.8	99.9	39.1	5678.14	1.000	39.1	5678.14
4	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	103.5	111.0	2642.1	81.4	30.8	4468.47	1.000	30.8	4468.47
5	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	108.0	110.0	2642.1	88.5	33.5	4858.22	1.000	33.5	4858.22
6	12872 P=PATRON	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	57.000	105.0	109.0	2551.8	102.5	40.2	5825.92	1.000	40.2	5825.92
7	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	104.0	112.0	2642.1	87.1	33.0	4781.37	1.000	33.0	4781.37
8	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	104.0	110.0	2642.1	76.7	29.0	4210.46	1.000	29.0	4210.46
9	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	57.000	104.0	108.0	2551.8	87.2	34.2	4956.29	1.000	34.2	4956.29
10	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	103.0	112.0	2642.1	93.9	35.5	5154.66	1.000	35.5	5154.66
11	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	104.0	111.0	2642.1	80.5	30.5	4419.06	1.000	30.5	4419.06
12	12872 No. 6 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	104.0	107.0	2551.8	86.9	34.1	4939.24	1.000	34.1	4939.24

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
 No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

Observaciones:

Laboratorio de Certificación  
 Cementos Progreso, S.A.

		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C- 42										OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 2 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05					
Cliente: CETEC		Procedencia: CETEC										 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio					
Dirección:		Proyecto: PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO															
Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		Analista(s): EY / EO															
Teléfono:																	
ASTM C-42																	
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kN)	Resistencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia lb/pulg <sup>2</sup>	Factor de Corrección	Corregida por esbeltez N/mm <sup>2</sup>	Corregida por esbeltez lb/pulg <sup>2</sup>
13	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.5	113.0	2642.1	82.4	31.2	4523.36	1.000	31.2	4523.36
14	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	105.0	110.0	2642.1	85.4	32.3	4688.05	1.000	32.3	4688.05
15	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	57.000	104.0	109.0	2551.8	97.3	38.1	5530.36	1.000	38.1	5530.36
16	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	112.0	2642.1	82.4	31.2	4523.36	1.000	31.2	4523.36
17	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	109.0	2642.1	80.9	30.6	4441.02	1.000	30.6	4441.02
18	12872 No 6 1/4	2009-05-11	-	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	57.000	104.0	109.0	2551.8	94.3	37.0	5359.84	1.000	37.0	5359.84
19	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	104.5	114.0	2642.1	67.1	25.4	3683.46	1.000	25.4	3683.46
20	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	103.0	110.0	2642.1	57.8	21.9	3172.94	1.000	21.9	3172.94
21	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.710	57.000	104.0	110.0	2551.8	87.1	34.1	4950.61	1.000	34.1	4950.61
22	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	102.0	108.0	2642.1	71.1	26.9	3903.05	1.000	26.9	3903.05
24	12872 No 5 1/2	2009-05-11	-	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	106.0	110.0	2551.8	77.5	30.4	4404.96	1.000	30.4	4404.96

**Observaciones:** #22 No existe pues lo dañaron al desencofrar o quedo mal hecho.

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C- 42		OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 3 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05																	
<b>CETEC</b> Procedencia: CETEC		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio																	
Dirección: -		Proyecto: PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																	
Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		Analista(s): EY / EO																	
Teléfono: -																			
ASTM C-42																			
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (KN)	Resistencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia lb/pulg <sup>2</sup>	Factor de Corrección	Corregida por esbeltez N/mm <sup>2</sup>	Corregida por esbeltez lb/pulg <sup>2</sup>	
25	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.5	112.0	2642.1	72.3	27.4	3968.92	1.000	27.4	3968.92	
26	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	106.0	109.0	2642.1	74.0	28.0	4062.24	1.000	28.0	4062.24	
27	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	104.0	109.0	2551.8	78.3	30.7	4450.43	1.000	30.7	4450.43	
28	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	111.0	2642.1	69.4	26.3	3809.72	1.000	26.3	3809.72	
30	12872 No 5 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	57.000	105.0	109.0	2551.8	81.7	32.0	4643.68	1.000	32.0	4643.68	
31	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	113.0	2642.1	79.5	30.1	4364.16	1.000	30.1	4364.16	
32	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.700	58.000	104.0	111.0	2642.1	85.3	31.5	4572.77	1.000	31.5	4572.77	
33	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	57.000	103.0	107.0	2551.8	98.6	38.6	5604.25	1.000	38.6	5604.25	
34	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.5	112.0	2642.1	76.1	28.8	4177.52	1.000	28.8	4177.52	
35	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	103.0	110.0	2642.1	94.6	35.8	5193.08	1.000	35.8	5193.08	
36	12872 No 3 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.690	57.000	105.0	109.0	2551.8	103.8	40.7	5899.80	1.000	40.7	5899.80	
<b>Observaciones:</b> #28 Quedo mal hecho al desencofrar.		<b>Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.</b>																	

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C- 42										OT: 12872								
										FECHA: 2009-04-27								
										PÁGINA: 4 de 10								
										IMPRESIÓN: 2009-08-05								
<b>Ciente:</b> CETEC <b>Dirección:</b> PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO <b>Contacto:</b> ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE <b>Teléfono:</b> EY / EO										 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio								
ASTM C-42										Resistencia		Factor de Corrección		Corregida por esbeltez				
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kN)	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
37	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.5	112.0	2642.1	82.5	31.2	4528.85	1.000	31.2	4528.85
38	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	110.0	2642.1	92.3	34.9	5066.82	1.000	34.9	5066.82
39	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	86.9	34.1	4939.24	1.000	34.1	4939.24
40	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	111.0	2642.1	81.0	30.7	4446.51	1.000	30.7	4446.51
41	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	112.0	2642.1	89.8	34.0	4929.58	1.000	34.0	4929.58
42	12872 No 3 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	57.000	104.0	110.0	2551.8	87.1	34.1	4950.61	1.000	34.1	4950.61
43	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	113.0	2642.1	86.4	32.7	4742.94	1.000	32.7	4742.94
44	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.700	58.000	104.0	109.0	2642.1	92.4	35.0	5072.31	1.000	35.0	5072.31
45	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	57.000	105.0	107.0	2551.8	70.6	27.7	4012.78	1.000	27.7	4012.78
46	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	114.0	2642.1	85.0	32.2	4666.09	1.000	32.2	4666.09
47	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	110.0	2642.1	88.5	33.5	4858.22	1.000	33.5	4858.22
48	12872 No 2 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.690	57.000	104.0	108.0	2551.8	103.2	40.4	5865.70	1.000	40.4	5865.70

**Observaciones:**  
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

*Calidad y Precisión  
como compromiso*

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C- 42		OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 5 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05																
<b>Ciente:</b> CETEC		<b>Procedencia:</b> CETEC																
<b>Dirección:</b>		<b>Proyecto:</b> PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																
<b>Contacto:</b> ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		<b>Analista(s):</b> EY / EO																
<b>Teléfono:</b>		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio																
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (KN)	Resistencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia lb/pulg <sup>2</sup>	Factor de Corrección	Corregida por esbeltez N/mm <sup>2</sup>	Corregida por esbeltez lb/pulg <sup>2</sup>
49	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	105.5	114.0	2642.1	73.4	27.8	4029.30	1.000	27.8	4029.30
50	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	112.0	2642.1	79.2	30.0	4347.70	1.000	30.0	4347.70
51	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	57.000	103.0	107.0	2551.8	75.5	29.6	4291.28	1.000	29.6	4291.28
52	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	104.5	114.0	2642.1	76.6	29.0	4204.97	1.000	29.0	4204.97
53	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	104.0	108.0	2642.1	84.8	32.1	4655.11	1.000	32.1	4655.11
54	12872 No 2 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	106.0	110.0	2551.8	89.8	35.2	5104.07	1.000	35.2	5104.07
55	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	112.0	2642.1	67.7	25.6	3716.40	1.000	25.6	3716.40
56	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	106.0	114.0	2642.1	74.0	28.0	4062.24	1.000	28.0	4062.24
57	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.690	57.000	105.0	109.0	2551.8	55.1	21.6	3131.78	1.000	21.6	3131.78
58	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.5	113.0	2642.1	70.4	26.6	3864.62	1.000	26.6	3864.62
59	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.700	58.000	105.0	109.0	2642.1	77.4	29.3	4248.89	1.000	29.3	4248.89
60	12872 No 4 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	57.000	105.0	109.0	2551.8	77.7	30.4	4416.33	1.000	30.4	4416.33

**Observaciones:** Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

*Laboratorio de Investigación  
Centro Tecnológico Progreso*

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C-42		OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 6 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05																
<b>Ciente:</b> CETEC		<b>Procedencia:</b> CETEC																
<b>Dirección:</b>		<b>Proyecto:</b> PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																
<b>Contacto:</b> ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		<b>Analista(s):</b> EY / EO																
<b>Teléfono:</b>		<b>Ing. Mario de León M.</b> <b>Jefe de Laboratorio</b>																
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kN)	Resistencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia lb/pulg <sup>2</sup>	Factor de Corrección	Corregida por esbeltez N/mm <sup>2</sup>	Corregida por esbeltez lb/pulg <sup>2</sup>
61	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	114.0	2642.1	79.1	29.9	4342.21	1.000	29.9	4342.21
62	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	105.0	109.0	2642.1	81.8	31.0	4490.42	1.000	31.0	4490.42
63	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	50.7	19.9	2881.70	1.000	19.9	2881.70
64	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	105.0	114.0	2642.1	79.2	30.0	4347.70	1.000	30.0	4347.70
65	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	110.0	2642.1	47.8	18.1	2623.99	1.000	18.1	2623.99
66	12872 No 4 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	70.8	27.7	4024.14	1.000	27.7	4024.14
67	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.780	58.000	103.5	112.0	2642.1	80.3	30.4	4408.08	1.000	30.4	4408.08
68	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	105.0	112.0	2642.1	75.7	28.7	4155.56	1.000	28.7	4155.56
69	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	104.0	108.0	2551.8	85.3	33.4	4848.30	1.000	33.4	4848.30
70	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.710	58.000	106.5	118.0	2642.1	63.0	23.8	3458.39	1.000	23.8	3458.39
71	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	106.0	112.0	2642.1	72.6	27.5	3985.39	1.000	27.5	3985.39
72	12872 No 7 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	105.0	109.0	2551.8	56.9	22.3	3234.09	1.000	22.3	3234.09

**Observaciones:**  
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

*Centro Tecnológico Progreso*  
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Guatemala

		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Concreto Norma ASTM C-42										OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 7 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05						
Cliente: CETEC		Procedencia: CETEC										 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio						
Dirección:		Proyecto: PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																
Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		Analista(s): EY / EO																
Teléfono:																		
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kNf)	Resistencia		Corregida por esbeltez		
														N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
73	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.580	58.000	104.5	112.0	2642.1	76.4	28.9	4193.99	1.000	28.9	4193.99
74	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	104.0	109.0	2642.1	78.7	29.8	4320.25	1.000	29.8	4320.25
75	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	87.5	34.3	4973.34	1.000	34.3	4973.34
76	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.5	112.0	2642.1	76.5	29.0	4199.48	1.000	29.0	4199.48
77	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	110.0	2642.1	81.3	30.8	4462.98	1.000	30.8	4462.98
78	12872 No 7 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	87.5	34.3	4973.34	1.000	34.3	4973.34
79	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.5	111.0	2642.1	83.3	31.5	4572.77	1.000	31.5	4572.77
80	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.0	110.0	2642.1	78.0	29.5	4281.82	1.000	29.5	4281.82
81	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	105.0	109.0	2551.8	83.1	32.6	4723.25	1.000	32.6	4723.25
82	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	103.9	110.0	2642.1	74.1	28.0	4067.73	1.000	28.0	4067.73
83	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	105.0	110.0	2642.1	83.1	31.5	4561.79	1.000	31.5	4561.79
84	12872 No 1 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.690	57.000	104.0	108.0	2551.8	54.8	21.5	3114.73	1.000	21.5	3114.73

**Observaciones:** Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga integralmente y con la aprobación del CETEC.

		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Norma ASTM C-42										OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 8 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05						
<b>Cliente:</b> CETEC		<b>Procedencia:</b> CETEC		<b>PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO</b> EY/EO										 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio				
<b>Dirección:</b>		<b>Proyecto:</b>																
<b>Contacto:</b> ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		<b>Analista(s):</b>																
<b>Teléfono:</b>																		
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edd (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Mesa (kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max (kN)	Resistencia		Corregida por esbeltez		
														N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
85	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.400	58.000	102.5	112.0	2642.1	79.6	30.1	4369.65	1.000	30.1	4369.65
86	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	104.0	111.0	2642.1	89.6	33.9	4918.61	1.000	33.9	4918.61
87	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	57.000	104.0	108.0	2551.8	99.3	38.9	5644.03	1.000	38.9	5644.03
88	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.680	58.000	104.5	110.0	2642.1	74.9	28.3	4111.65	1.000	28.3	4111.65
89	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.640	58.000	105.0	109.0	2642.1	81.3	30.8	4462.98	1.000	30.8	4462.98
90	12872 No 1 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.650	57.000	104.0	108.0	2551.8	98.0	38.4	5570.14	1.000	38.4	5570.14
91	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.5	112.0	2642.1	81.5	30.8	4473.96	1.000	30.8	4473.96
92	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	104.0	112.0	2642.1	78.6	29.7	4314.76	1.000	29.7	4314.76
93	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	104.0	105.0	2551.8	90.3	35.4	5132.49	1.000	35.4	5132.49
94	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	105.5	113.0	2642.1	88.1	33.3	4836.26	1.000	33.3	4836.26
95	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	104.0	109.0	2642.1	98.4	37.2	5401.68	1.000	37.2	5401.68
96	12872 No 9 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.750	57.000	104.0	108.0	2551.8	101.8	39.9	5786.13	1.000	39.9	5786.13

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
 No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

**Observaciones:**

		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera, Tel: 22864178 Fax: 22864181 <b>Resistencia a la Compresión de Concreto Norma ASTM C- 42</b>										OT: 12872 FECHA: 2009-04-27 PÁGINA: 9 de 10 IMPRESIÓN: 2009-08-05						
Cliente: CETEC		Procedencia: CETEC										 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio						
Dirección:		Proyecto: PUNTO DE TESIS OSCAR QUINTO																
Contacto: ING. ESTUARDO HERRERA / ING. FRANCISCO ECUTE		Analista(s): EY / EO																
Teléfono:																		
ASTM C-42																		
No.	Identificación Cliente	Fecha de Fundición	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Localización estructura	Clase de Concreto	Masa (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Altura Nivelada (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max. (kN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez	
														N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
97	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.700	58.000	104.5	112.0	2642.1	72.3	27.4	3968.92	1.000	27.4	3968.92
98	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	106.0	110.0	2642.1	65.1	24.6	3573.67	1.000	24.6	3573.67
99	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	57.000	104.0	108.0	2551.8	95.9	37.6	5450.78	1.000	37.6	5450.78
100	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
101	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	104.0	110.0	2642.1	74.7	28.3	4100.67	1.000	28.3	4100.67
102	12872 No 9 1/4	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	57.000	104.0	108.0	2551.8	69.0	27.0	3921.84	1.000	27.0	3921.84
103	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.660	58.000	103.0	110.0	2642.1	70.6	26.7	3875.60	1.000	26.7	3875.60
104	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	105.0	111.0	2642.1	84.0	31.8	4611.19	1.000	31.8	4611.19
105	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	57.000	104.0	108.0	2551.8	63.1	24.7	3586.49	1.000	24.7	3586.49
106	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-05-31	20	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.740	58.000	105.0	112.0	2642.1	76.8	29.1	4215.95	1.000	29.1	4215.95
107	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-06-08	28	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.720	58.000	105.0	110.0	2642.1	69.9	26.5	3837.17	1.000	26.5	3837.17
108	12872 No 8 1/2	2009-05-11	-	2009-07-06	56	CONTROL DE CALIDAD	4000	0.730	57.000	105.0	109.0	2551.8	93.0	36.4	5285.95	1.000	36.4	5285.95

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas.  
 No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

Observaciones: #100 No existe se arriuno al desencofrar quedo mal hecho.

