



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

**ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS
DE CONCRETO, UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO
RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO DE
ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO)**

Nery Arnoldo Contreras Villanueva

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, mayo de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS
DE CONCRETO, UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESCTRUCTIVO
RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO DE
ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

NERY ARNOLDO CONTRERAS VILLANUEVA
ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alfredo Fernández Erazo
SECRETARIO	Inga. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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:

ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO, UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESCTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO),

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 9 de septiembre de 2010.



Nery Arnolito Contreras Villanueva

Guatemala 8 de febrero de 2010

Ingeniero

José Gabriel Ordóñez Morales

Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

Facultad de Ingeniería.

Universidad de San Carlos.

Ing. Ordóñez:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado: "ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO)" desarrollado por el estudiante universitario Nery Arnoldo Contreras Villanueva quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo elaborado por el estudiante Contreras Villanueva, satisface los requisitos exigidos en la Facultad, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente:


Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Asesor Trabajo de Graduación
Sergio Vinicio Castañeda Lemus
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 5319



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,
4 de marzo de 2010

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 **ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-579-02 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO)**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Nery Arnoldo Contreras Villanueva, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Contreras Villanueva, 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

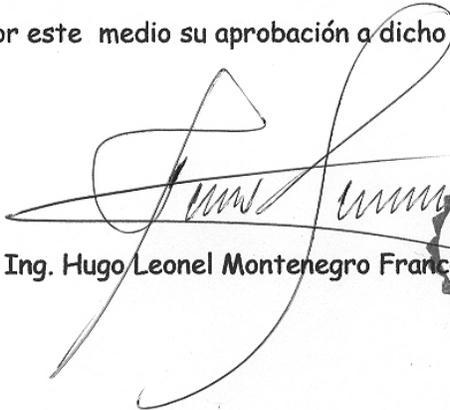
/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Nery Arnoldo Contreras Villanueva, titulado ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO, UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO), da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

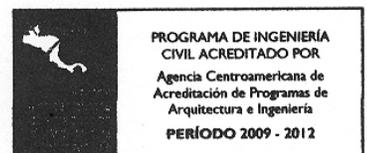

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua

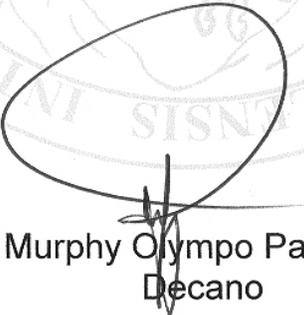




Ref. DTG.135-2010

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: **ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO, UTILIZANDO EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (METODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO)**, presentado por el estudiante universitario **Nery Arnoldo Contreras Villanueva**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2010

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS Y SANTA VIRGEN MARIA

Por sus bendiciones y manifestaciones de amor hacia mi persona y nuestra familia.

MI ESPOSA Emilia de Contreras

Con amor, por animarme siempre para alcanzar esta meta. Le agradezco de todo corazón por su constante apoyo.

MIS HIJOS Emily Andrea y Juan José

Por estar siempre conmigo apoyándome y demostrar lo importante que es para ellos el logro de mis metas.

MIS PADRES José Humberto Contreras Paiz y Marta Isabel Villanueva

Por inculcar en mi buenos principios para ser persona de bien y sus esfuerzos por brindarme la posibilidad de estudiar.

MIS SUEGROS Juan Antonio y Linda

Por sus consejos y aprecio que siempre me han manifestado. Han sido mis segundos padres.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por haber cursado en esta gloriosa universidad mis estudios superiores y formación profesional.

FORCOGUA (Formaletas y Concretos de Guatemala)

Por su apoyo en la realización de muestras y caracterización de materiales.

CETEC (Centro Tecnológico del Concreto, Cementos Progreso)

Por su apoyo en realización de ensayos de concreto con ultrasonido y a compresión.

DEDICATORIA A:

MI ESPOSA

Emilia de Contreras, por ser uno más de nuestros logros que hemos alcanzado. Le agradezco por animarme y motivarme para seguir adelante. Con amor.

MIS HIJOS

Emily Andrea Y Juan José, como ejemplo de perseverancia y esfuerzo. Con todo mi amor les dedico éste triunfo.

MIS PADRES

José Humberto Contreras Páiz y Marta Villanueva de Contreras, por brindarme buenos cimientos para poder educarme.

MIS SUEGROS

Juan Antonio y Linda, por sus consejos, apoyo y cariño brindado.

MIS HERMANAS Y HERMANOS

Rolando, Lily, Joel, Olga Iliana y Rodolfo. Con Cariño.

MIS CUÑADAS

Aracely, Celmy, Maristela, Dalila, Lindy, Dina, Mayra y Lucrecia. Con Cariño.

MIS CUÑADOS

Aldo Homero Meza y Edgar García. Con aprecio.

MIS CONCUÑOS

Francisco Rojas, José Luis Álvarez, Luis Fernando Alcántara y Daniel Melgar. Con aprecio.

MIS SOBRINOS Y SOBRINAS

Albin, Jennifer, Esteffany, Linda Isabel, Lucila Isabel, Fátima, Joselyn, Christian Joel, Carol, María Alejandra, José Luis, Luis Fernando, Lucía, Marta María, María José, Daniela y Francisco de Jesús. Como ejemplo de esfuerzo, motivándolos para que estudien y con alegría de compartir con ustedes este triunfo.

MIS AMIGOS

Mario Rodas Lucero, Marina De Paz, Alfonso Estrada, Luis Fernando Micheo, Erick Alonzo, Alfonso Sirín, David Arrivillaga, Joel Guerrero.

LOS PROFESIONALES

Ingeniero Jorge Roca, Ingeniero Rolando Majus. Por compartirme su experiencia y conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	1
1.1. Definición	1
1.2. Generalidades	1
1.3. Ensayos	2
1.3.1. Evaluación de obras nuevas	3
1.3.2. Evaluación de estructuras ya existentes o viejas para su rehabilitación o modificación	3
1.3.3. Efectos de procesos constructivos en la resistencia a compresión	4
1.4. Ensayos destructivos(ED) concreto	4
1.4.1. Extracción de testigos	4
1.4.2. Pruebas de carga	4

1.5.	Ensayos no destructivos (END) concreto	5
1.5.1.	Absolutamente no destructivos	6
1.5.2.	Mínimo efecto destructivo	7
1.5.3.	Ligeramente destructivos	7
1.5.4.	Ensayos que pueden ser destructivos	7
1.6.	Control de calidad en obra	9
1.6.1.	Estado fresco	9
1.6.2.	Estado endurecido	11
1.7.	Control de calidad en laboratorio	12
1.7.1.	Estado fresco	12
1.7.2.	Estado endurecido	13
1.7.2.1.	Control de calidad resistencia a compresión	14
1.7.2.1.1.	Cilindros de control de calidad de producción	14
1.7.2.1.2.	Cilindros de control de calidad supervisión	15
1.7.2.1.3.	Cilindros de control en obra	15

2.	MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO (ASTM C-597-02)	17
2.1.	Alcance	17
2.2.	Descripción del método de ensayo	17
2.3.	Equipo necesario	19
2.4.	Influencia del tipo y composición del concreto en el ensayo	20
2.5.	Interpretación de resultados	20
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	23
3.1.	Definición muestra de estudio	23
3.2.	Caracterización de materiales	24
3.2.1.	Cemento	24
3.2.2.	Agregados	24
3.2.3.	Aditivos	25
3.3.	Concretos	25
3.4.	Evaluación de concretos	26
3.4.1.	Estado fresco	27
3.4.2.	Estado endurecido	29
3.4.2.1.	Información probetas	29

3.4.2.2. Método de ensayo para la velocidad de pulso en el concreto (ASTM C-597-02)	32
3.4.2.3. Método de ensayo estándar para la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C-39/C-39M-05e1)	34
3.4.3. Correlación entre los métodos evaluados	36
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
4.1. Dosificación de las mezclas	45
4.2. Estado fresco	45
4.2.1. Trabajabilidad	45
4.2.2. Temperatura de la mezcla	46
4.2.3. Relación a/c	46
4.2.4. Masa unitaria	46
4.2.5. Contenido de aire	47
4.3. Estado endurecido	47
4.3.1. Resistencia a compresión	47
4.3.2. Velocidad de pulso	47

4.4. Correlación resistencia a compresión-velocidad de pulso	48
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ensayo de velocidad de pulso en el concreto	6
2.	Ensayo de fluidez del concreto estado fresco	10
3.	Ensayo de temperatura concreto estado fresco	10
4.	Equipo ensayo de trabajabilidad del concreto	13
5.	Elaboración de probetas para ensayo a compresión concreto	14
6.	Colocación de transductores para ensayo velocidad de pulso	18
7.	Equipo de ensayo velocidad de pulso	19
8.	Planta de producción de la empresa Formaletas y Construcciones De Guatemala (FORCOGUA)	23
9.	Mezcladora mecánica para elaboración de mezclas de concreto	25
10.	Resultados masa unitaria concretos	28
11.	Eliminación de exceso de humedad de probetas de concreto	30
12.	Resultados de masa probetas de concreto	31
13.	Resultados de altura probetas de concreto	31
14.	Ensayo de velocidad de pulso en el concreto	34
15.	Nivelación de probetas para ensayo resistencia a compresión	35

16.	Resultados de resistencia a compresión concreto	37
17.	Resultados de velocidad de pulso en el concreto	37
18.	Resultados regresión MC5 (1, 3, 7 y 28 días)	40
19.	Resultados regresión MC5 (3, 7 y 28 días)	41
20.	Resultados regresión MC6 (1, 3, 7 y 28 días)	41
21.	Resultados regresión MC6 (3, 7 y 28 días)	42
22.	Resultados regresión MC7 (1, 3, 7 y 28 días)	42
23.	Resultados regresión MC7 (3, 7 y 28 días)	43

TABLAS

I.	Métodos END y su aplicación	8
II.	Criterios para el control de calidad concreto	15
III.	Criterios para el control de calidad concreto	16
IV.	Criterios para el control de calidad concreto	16
V.	Clasificación del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso	21
VI.	Clasificación del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso	21
VII.	Clasificación del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso	22

VIII.	Resultados caracterización agregados	24
IX.	Valores de la relación $f'c / f'c_{28 \text{ días}}$	26
X.	Dosificación mezclas de concreto evaluadas	27
XI.	Resultados concretos evaluados estado fresco	28
XII.	Análisis probetas de concreto	30
XIII.	Resultados concretos evaluados estado endurecido	36
XIV.	Resultados ensayo velocidad de pulso	38
XV.	Resultados análisis de regresión resistencia a compresión- velocidad de pulso	39

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetros
ED	Ensayo destructivo
END	Ensayo no destructivo
°C	Grados Celsius
g	Gramos
kg	Kilogramos
kg/cm²	Kilogramos por centímetro cuadrado
l	Litros
MC5	Mezcla concreto 5 sacos de cemento/m ³
MC6	Mezcla concreto 6 sacos de cemento/ m ³
MC7	Mezcla concreto 7 sacos de cemento/ m ³
m	Metros
ml	Mililitros
mm	Milímetros
m/s	Metros por segundo
psi	Libras por pulgada cuadrada
S	Desviación estándar
V-MC5	Velocidad de pulso mezcla concreto 5 sacos de cemento/m ³
V-MC6	Velocidad de pulso mezcla concreto 6 sacos de cemento/m ³
V-MC7	Velocidad de pulso mezcla concreto 7 sacos de cemento/m ³
\bar{x}	Media (promedio)
σ	Esfuerzo

μ	Media del universo
δ	Desviación del universo
“	Pulgadas

GLOSARIO

a/c	Relación agua cemento.
ACI	Siglas del Instituto Americano del Concreto (<i>American Concrete Insitute</i>).
ASTM	Siglas de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Consistencia de mezclas de concreto	Es una característica que se relaciona principalmente con el aspecto de la trabajabilidad definido como movilidad.
Control de calidad	Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de

aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.

Durabilidad del concreto

Capacidad para resistir las acciones del medio, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso que pueda causar deterioro.

Ensayo destructivo

Es aquel que destruye la muestra al ser ensayada, puede ser en la obra o en el laboratorio.

Ensayo no destructivo

Aquellas pruebas que no causan daño estructural significativo en el concreto, radican en su relativa simplicidad, rapidez y en la posibilidad de efectuar un alto número de determinaciones sin alterar su resistencia y funcionalidad a un relativo bajo costo.

$f'c$

Resistencia a compresión del concreto.

Muestra

Grupo de unidades o porción de material, tomados de una cantidad mayor de unidades o de material. Sirve para aportar información para tomar decisiones sobre el conjunto mayor de

unidades, sobre un material o sobre un proceso de producción.

Probeta

Parte de una porción de lo que se va a analizar o ensayar, que puede tener forma de un prisma, cilindro, cubo, etc.

Réplica

Repetir el ensayo para asegurar que el valor obtenido es correcto.

RESUMEN

Generalmente, el principal parámetro de control de calidad del concreto en estado endurecido es su resistencia a compresión, evaluada por medio del ensayo de probetas cilíndricas, o bien el ensayo de testigos extraídos de los elementos fundidos *en situ*, teniendo poca aplicación los métodos de ensayos no destructivos, debido principalmente a la poca información que sobre éstos tienen los responsables de los proyectos.

Dentro de estos ensayos se encuentra la evaluación de la velocidad de impulso que ha venido siendo utilizada desde hace más de 50 años (desarrollada por Leslie y Cheesman), mide el tiempo que se tarda un impulso ultrasónico en atravesar la masa del concreto evaluado, en cierto modo, se está midiendo el valor del módulo de elasticidad dinámico del concreto, que, parcialmente se relaciona con su resistencia mecánica.

Se recomienda realizar ensayos a edades mayores, pues los resultados obtenidos permiten establecer una metodología para implementar el uso de estos métodos de ensayo en el control de calidad del concreto.

OBJETIVOS

General

Realizar estimaciones de la resistencia a compresión de mezclas de concreto utilizando el ensayo no destructivo recomendado por la norma ASTM C 597-02.

Específicos:

1. Caracterizar los materiales utilizados para elaborar concretos por medio de procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM y COGUANOR aplicables.
2. Elaborar y evaluar concretos por medio de procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM y COGUANOR aplicables.
3. Evaluar la resistencia a compresión de concreto por medio del método de ensayo destructivo (ASTM C-39/C-39M-05e1).
4. Evaluar la velocidad del pulso ultrasónico por medio del método de ensayo no destructivo (ASTM C-597-02).
5. Analizar los resultados obtenidos en los dos ensayos por medio de gráficos y/o herramientas estadísticas.

INTRODUCCIÓN

El principal parámetro de control de calidad del concreto en estado endurecido es su resistencia a compresión, evaluada por medio del ensayo de probetas cilíndricas, ensayo de testigos extraídos de los elementos fundidos *en situ* o con ensayos no destructivos. La evaluación de la velocidad de pulso ultrasónico ha sido utilizada desde hace más de 50 años para control de calidad de concreto, los resultados se ven afectados por una serie de factores entre los que se pueden mencionar el carácter heterogéneo del concreto, destacando los agregados y la relación a/c utilizados, que pueden dar lugar a obtener resultados diferentes en cada caso.

El presente estudio evaluó de manera particular mezclas de concreto con diferentes contenidos de cemento por medio del ensayo de probetas a diferentes edades, de acuerdo a lo indicado en las normas **ASTM C-597-02 (Método de ensayo para la velocidad de pulso en el concreto)** y **ASTM C-39 / C-39 M – 05 e1**, contando con el apoyo de las empresas Formaletas y Construcciones (FORCOGUA) y del Centro Tecnológico de Cementos Progreso (CETEC).

El capítulo uno se presentan aspectos teóricos sobre el control de calidad a concretos, incluyendo definición, tipos de ensayos, tanto en obra como en el laboratorio. El capítulo dos incluye definiciones sobre el ensayo de velocidad de pulso así como el equipo y otros de interés.

El capítulo tres contiene el desarrollo experimental, caracterización de materiales y concretos elaborados, así como los criterios estadísticos y de análisis de correlación aplicados. Finalmente el capítulo cuatro incluye el análisis de los resultados además de las conclusiones y recomendaciones producto del presente estudio.

1. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

1.1. Definición

Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución. (1)

1.2. Generalidades

Se define el control de calidad del concreto como la aptitud de éste para satisfacer un requerimiento o una especificación, al menor costo. Existen dos medios básicos para esta labor:

- Control interno
- Supervisión externa

Las propiedades y características del concreto en sus dos estados pueden ser predecibles y regulables a pesar de su composición heterogénea, esto mediante una adecuada selección y combinación de sus componentes así como de un adecuado control de calidad. Se realiza en sus dos estados; fresco para conocer sus características y endurecido para determinar sus cualidades y resistencia. El estudio de las tolerancias permisibles y la distinción entre causas fortuitas o causas específicas reales de estas variaciones se hace fácilmente y en forma racional y sistemática, por medio del control estadístico de calidad.

1.3. Ensayos

La estimación de la calidad y la seguridad de servicio que una estructura puede seguir brindando a los usuarios no está ligada única y de manera exclusiva a la resistencia a compresión del concreto y por ellos se requieren las evaluaciones, tanto del concreto como de los elementos estructurales a través de las pruebas destructivas y no destructivas.

Con respecto al método general utilizado en los ensayos, estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Ensayos en estructuras, miembros o partes de tamaño natural.
- Ensayos en modelos de estructuras, miembros o partes.
- Ensayos en probetas cortadas de las partes acabadas.
- Ensayos en muestras de materiales naturales o transformados.

Según su finalidad los ensayos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Ensayos previos
- Ensayos característicos
- Ensayos de control
- Ensayos de información

Las variaciones que presentan los resultados de los ensayos de control de calidad del concreto, tienen dos orígenes:

- Variaciones reales de la calidad del material.
- Variaciones aparentes debidas a la imprecisión propia del ensayo.

Cuando los ensayos se realizan de forma adecuada, siguiendo los procedimientos indicados, las variaciones debidas a ellos son de una magnitud bastante menor que las debidas a las reales alteraciones de la calidad del producto, los ensayos mal hechos pueden indicar niveles de calidad y variabilidad del concreto que no existen, algunas de sus aplicaciones en construcción se presentan a continuación.

1.3.1. Evaluación de obras nuevas

Cuando se tienen dudas sobre la resistencia a compresión del concreto, ubicación del acero de refuerzo y/o la determinación del diámetro del mismo, identificación de posibles fallas por procesos constructivos, oquedades y otros tipos de fallas o como una segunda opción de control de calidad.

1.3.2. Evaluación de estructuras ya existentes o viejas para su rehabilitación o modificación

Los END se pueden utilizar para determinar la resistencia a compresión o del módulo de elasticidad del concreto, ubicación del acero de refuerzo o tendones de pre esfuerzo, determinación de grados de corrosión en el acero de refuerzo, determinación de la permeabilidad del concreto, determinación de la carbonatación del concreto o ataques químicos.

Valorar los aspectos de durabilidad en sitio o otros tipos de fallas y así poder dar un dictamen de factibilidad o condiciones en que se encuentra la construcción para finalmente poder tomar decisiones de un posible uso, reparación o demolición de la estructura dependiendo del dictamen o inclusive en el cambio del uso del inmueble.

1.3.3. Efectos de procesos constructivos en la resistencia a compresión

Producto del retiro prematuro de las formaletas, tensado prematuro de cables de pre esfuerzo, fallas o huecos por mala colocación o vibrado, acabados o curados deficientes, ataques por agentes químicos o el medio ambiente, obligan a la evaluación de las estructuras ya fundidas por medio de las técnicas de END.

1.4. Ensayos destructivos (ED) concreto

1.4.1. Extracción de testigos

Para su obtención se utilizan brocas con superficies diamantadas que permiten el corte del concreto de una manera adecuada, utilizando los medios necesarios para la lubricación de las superficies, los testigos obtenidos son de forma cilíndrica y de diámetro ligeramente menor al de la broca utilizada y altura de acuerdo a la esbeltez recomendada, o bien aplicar los factores de corrección necesarios.

- Ventaja: la muestra ensayada es representativa del concreto que la circunda en el estado real de funcionamiento.
- Desventaja: proceso lento de obtención de la muestra, costos.

1.4.2. Pruebas de carga

La mayoría de reglamentos establecen la necesidad de efectuar ensayos de cargas de las estructuras cuando de los ensayos de las probetas realizados, testigos extraídos y/o ensayos no destructivos realizados, surja que las mismas no ofrecen garantías en cuanto a su grado de seguridad. No deben de

considerarse como ensayos destructivos, ya que su ejecución busca evaluar la estructura sin introducir daños (con la sola excepción de algunas fisuras) en ellas. Los criterios de evaluación generalmente utilizados, son los siguientes:

- Control de flechas máximas registradas.
- Control de las deformaciones remanentes.
- Control de fisuras, grietas, desprendimientos de material.

1.5. Ensayos no destructivos (END) concreto

Radican en su simplicidad, rapidez y en la posibilidad de poder realizar un gran número de determinaciones sobre la estructura sin alterar su resistencia y funcionalidad a un relativo bajo costo, permitiendo evaluar la homogeneidad de la misma sin comprometer su integridad, como si sucede con algunas técnicas de ensayo destructivas. Habrá que conocer las condiciones de la evaluación para saber qué tipo de método es el más adecuado en cada caso, con base a la información que interesa obtener.

En vista de la amplia gama de técnicas de ensayo no destructivas que existen, se debe establecer una clara diferencia para saber en qué casos debe aplicarse una u otra y que se puede esperar de cada una. Algunas de las condiciones que hacen imprescindible el uso de estos métodos son los siguientes:

- Pruebas de testigos tomados en obra no dieron resultados esperados y su evaluación estadística deja dudas en elementos críticos de la estructura.
- Condiciones de curado de los testigos no fueron las adecuadas en tiempo y forma.
- Determinar el momento adecuado para el desencofrado o desmoldeado de los elementos.

- Mal procedimiento de vibrado, o malas prácticas de colocación del concreto.

1.5.1. Absolutamente no destructivos

- Inspección visual. (ACI-201.1, 207.3)
- Medición de grietas
- Esclerómetro o martillo de rebote (ASTM C-805)
- Velocidad de transmisión de ultrasonido (ASTM C-597)
- Detección del acero de refuerzo e instalaciones
- Medición de la madurez del concreto (ASTM C-1074)
- Ensayo de rayos X

Figura 1. Ensayo de velocidad del pulso en el concreto



1.5.2. Mínimo efecto destructivo

- Resistencia del concreto a la penetración mediante Pistola de Windsor (ASTM C-803)
- Extracción de inserto o de pull out (ASTM C-900)
- Análisis petrográfico del concreto endurecido (ASTM C-856)

1.5.3. Ligeramente destructivos

- Extracción de núcleos y/o de vigas (ASTM C-042)
- Determinación de la densidad y humedad del concreto (ASTM C-1040)
- Determinación de la adherencia
- Determinación de la carbonatación
- Determinación de la corrosión (ASTM C-876)
- Determinación de la permeabilidad (ASTM C-1202)
- Arranque de cilindros colados in situ o brake off (ASTM C-1150)
- Cilindros colados *in situ* (ASTM C-873)

1.5.4. Ensayos que pueden ser destructivos

- Pruebas de carga y deformación (ACI 318)

Para una mejor visualización de los ensayos no destructivos y semi-destructivos aplicables al concreto se presenta la Tabla I, en la siguiente página.

Tabla I. Métodos END y su aplicación

Limitaciones	Característica de medida	Tipo	Ensayo
Superficial, textura de la superficie, carbonatación, humedad, rigidez del elemento, edad del concreto, tipo de agregado grueso.	Resiliencia	ND	Esclerometria (martillo <i>Schmidt</i>)
Edad del concreto, dureza del agregado grueso, superficial.	Resistencia a la penetración	SD	Penetración (<i>Windsor probe</i>)
Planificación previa, superficial.	Resistencia al corte	SD	Arrancamiento (<i>pull out</i>)
Planificación previa, superficial.	Resistencia al corte	SD	Arrancamiento (<i>loock test</i>)
Superficial	Resistencia al corte	SD	Arrancamiento (<i>capo test</i>)
Planificación previa, superficial, tamaño del agregado grueso.	Resistencia al corte	SD	Quebramiento (<i>break off</i>)
Rugosidad superficial, longitud de la pieza, temperatura del concreto, humedad del concreto, edad del concreto, resistencia a compresión.	Módulo de elasticidad	ND	Medición de la velocidad de pulso ultrasónico
Superficial	-	SD	Fractura interna
Superficial, temperatura del concreto, humedad del concreto.	Resistencia a la tracción	SD	Desprendimiento (<i>pull off</i>)
Superficial	Resistencia a presiones localizadas	SD	Presiones localizadas
Cada ensayo en particular.	Resiliencia y módulo de elasticidad	ND	Esclerometria- ultrasonido (<i>sonreb</i>)
Diámetro de las armaduras	Presencia de armaduras. Profundidad de recubrimiento	ND	Medición electromagnética de recubrimiento (<i>cover meter- Pachometer</i>)

Métodos de ensayos no destructivos y semidestructivos aplicables a estructuras de concreto

Fuente: (4)

1.6. Control de calidad en obra

La evaluación de cualquier estructura de calidad dudosa debe comenzar con la inspección visual del elemento, identificación del problema, selección del o los métodos más adecuados a aplicar, considerando su eficacia en términos de los resultados a obtener, facilidad de aplicación, la aceptación del método por las partes involucradas, la seguridad o confiabilidad en los resultados por obtener, tiempo y costo de ejecución.

Para la obtención de la resistencia existen varios métodos de ensayos (destructivos como pruebas de carga y deformación, y no destructivos como medición de velocidad de pulso ultrasónico, ensayos de rayos x, extracción de núcleos endurecidos, etc.). Actualmente, dentro de un análisis de vulnerabilidad sísmica se extraen núcleos de concreto de los edificios y se realizan ensayos para encontrar su resistencia a la compresión.

1.6.1. Estado fresco

Existen pruebas rápidas para analizar la composición del concreto conforme sale de la mezcladora, con ellas se pretende mejorar su uniformidad en la elaboración, verificando y ajustando las proporciones de sus componentes y anticipar las propiedades del concreto endurecido. Dentro de estas las más comunes son los ensayos de:

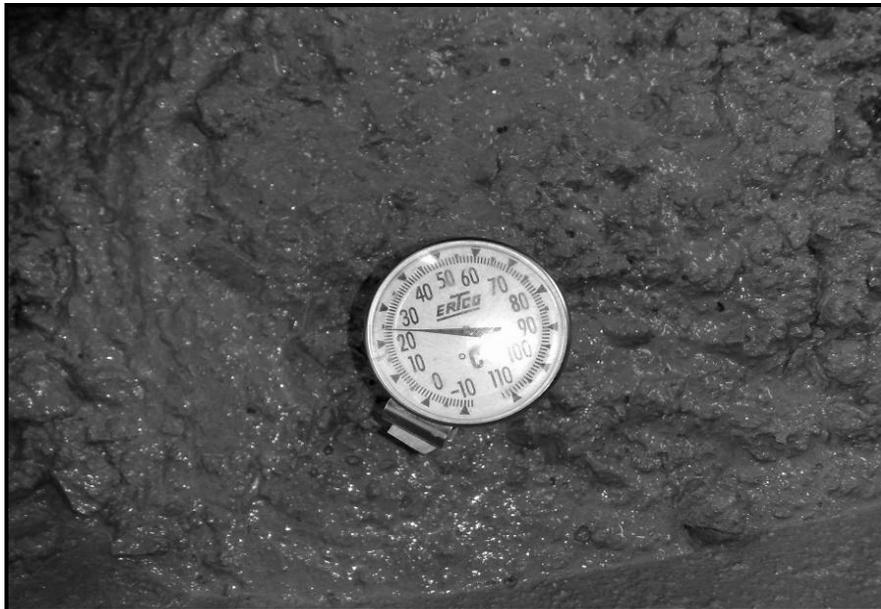
- Trabajabilidad
- Peso unitario
- Contenido de aire
- Temperatura
- Tiempos de fraguado

Figura 2. Ensayo de fluidez del concreto estado fresco



Fuente : Fotografía tomada durante la realización de prueba de trabajabilidad.

Figura 3. Ensayo de temperatura concreto estado fresco



Fuente: Fotografía tomada durante realización de prueba de medición de la temperatura

1.6.2. Estado endurecido

Suele ocurrir que una estructura controlada o no en su ejecución, ofrezca dudas sobre su comportamiento ya sea por la aparición de deformaciones, grietas o desintegración del concreto, estas pueden tener su origen en deficiencias propias de la estructura, accidentes, o en usos diferentes de aquellos para la que fue diseñada. Por esta razón, muchas veces es necesario determinar las características del concreto que interesa evaluar, cuando se requiere:

- Verificar cumplimiento de la resistencia especificada del concreto (estructura nueva).
- Desconocimiento de las condiciones de la estructura, por carencia de información o bien cambio en el uso del edificio.
- Presencia de patología constructivas y/o estructurales.
- Estructuras siniestradas (incendios, sismos, atentados, etc.).

A continuación se presentan los pasos para encarar la evaluación de la condición en que se encuentra el concreto ya endurecido en estructuras o elementos estructurales:

- Primera etapa: examen del concreto de la estructura.
- Segunda etapa: planificación, muestreo y ensayo del concreto endurecido.

Entre las causas de patologías generales más frecuentes se pueden mencionar las siguientes:

- Errores de proyectos
- Materiales inadecuados
- Deficiencias de la construcción
- Ambientes agresivos
- Usos inadecuados de la estructura
- Siniestros

Entre las patologías constructivas y/o estructurales más frecuentes se encuentran:

- Fisuras y grietas causadas por movimientos diferenciales.
- Daños superficiales.
- Alteraciones dimensionales o de forma
- Otros síntomas superficiales

Estas condiciones pueden hacer necesario tener que evaluar diferentes aspectos de la estructura de concreto, como pueden ser: resistencia de los materiales, durabilidad de la estructura y sus materiales, capacidad funcional de la estructura.

1.7. Control de calidad en laboratorio

1.7.1. Estado fresco

Las mismas que en obra, las condiciones de temperatura y humedad controlada en laboratorio permiten obtener mejores resultados.

Figura 4. Equipo de ensayo de trabajabilidad del concreto



Fuente: Fotografía tomada previo a realización de pruebas de trabajabilidad.

1.7.2. Estado endurecido

Las mismas que en obra, las condiciones de temperatura y humedad controlada en laboratorio permiten obtener mejores resultados. Se aplican los métodos de ensayos no destructivos presentados anteriormente, se pueden realizar pruebas de carga así como determinar otras propiedades mecánicas del concreto.

Figura 5. Elaboración de probetas para ensayo a compresión concreto



Fuente: Fotografía tomada durante elaboración de cilindros de concreto.

1.7.2.1. Control de calidad resistencia a compresión

1.7.2.1.1. Cilindros de control de calidad de producción

Son tomados por el productor del concreto, bajo condiciones normales de laboratorio (humedad y temperatura).

1.7.2.1.2. Cilindros de control de calidad supervisión

Es costumbre tomar cilindros a la descarga de la mezcladora con el fin de evitar discrepancias, son elaborados, curados y ensayados bajo condiciones normales de laboratorio.

1.7.2.1.3. Cilindros de control en obra

Se toman y se dejan al pie de la obra (bajo las mismas condiciones de la estructura), con el fin de ensayarlos a distintas edades y conocer la resistencia real del elemento fundido. En las tablas II, III y IV se muestran algunos criterios de control de calidad del concreto.

Tabla II. Criterios para el control de calidad concreto

Producción total-Variación total					
Variabilidad esperada en probetas de resistencia a compresión					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control en kg/cm ² (coeficiente de variación para diferentes grados de control en %)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	Menor de 25 (menor de 10)	25-35 (-)	35-40 (10-15)	40-50 (15-20)	Mayor de 50 (mayor de 20)
Mezclas de pruebas	Menor de 15 (menor de 5)	15-17 (5-7)	17-20 (7-10)	20-25 (7-10)	Mayor de 25 (mayor de 10)

Fuente: (6)

Tabla III. Criterios para el control de calidad concreto

Producción de una sola mezcla-Variación en las pruebas					
Variabilidad esperada en probetas de resistencia a compresión					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes grados de control en %				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	Menor de 3	3-4	4-5	4-6	Mayor de 6
Mezclas de pruebas	Menor de 2	2-3	3-4	4-5	Mayor de 5

Fuente: (6)

Tabla IV. Criterios para el control de calidad concreto

Resistencia a compresión promedio requerida cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar	
Resistencia especificada $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'c + 70$
210-350	$f'c + 85$
+ de 350	$f'c + 100$

Fuente: (6)

2. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO (ASTM C-597-02)

2.1. Alcance

Los materiales que se ensayan con este método son heterogéneos, como la madera y el hormigón; se excluyen los metales, ya que provocan una serie de irregularidades que afectan los resultados obtenidos. Una de las aplicaciones más comunes de la técnica ha sido la verificación del nivel de calidad de las estructuras de concreto sobre la base de correlacionar la velocidad de pulso con la resistencia a la compresión uniaxial, está basada en el hecho de que la velocidad de las ondas de compresión V en una masa de concreto se relaciona con las propiedades elásticas del material. Los métodos ultrasónicos son afectados por algunos factores, entre los que se pueden mencionar:

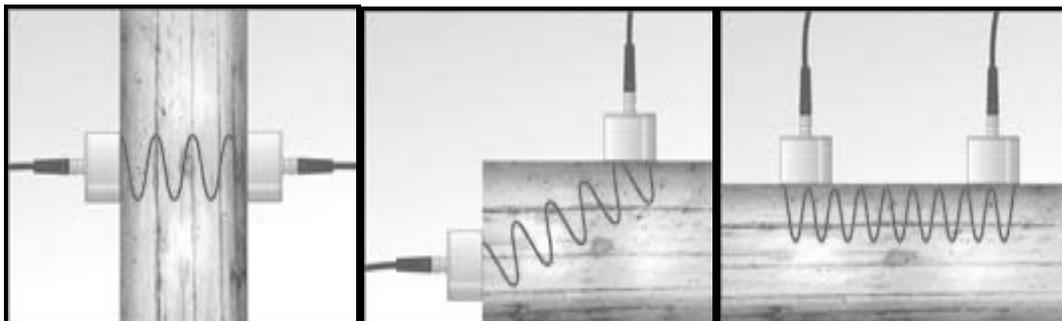
- Contacto entre superficies del hormigón y transductores.
- Longitud del recorrido.
- Humedad del hormigón.
- Armaduras metálicas.

2.2. Descripción del método de ensayo

Estas técnicas de transmisión fueron aplicadas por primera vez por Obert en 1940. Actualmente, el ensayo se encuentra normalizado por la ASTM C-597, "*Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*" (*American Society of Testing Materials*), donde se especifican las características del equipo utilizado y el procedimiento de ensayo.

Un impulso mecánico sobre un material puede generar tres tipos diferentes de ondas. A la muestra que se va a ensayar se le toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el concreto y la distancia entre transductores o terminales. Una vez que la onda se transmite a través del concreto, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de propagación de la onda en el concreto que, junto con la distancia entre transductores, nos ayudará a saber la velocidad.

Figura 6. Colocación de transductores para ensayo velocidad de pulso



Transmisión directa

Transmisión semidirecta

Transmisión indirecta
o de superficie

Distintas maneras de colocación de transductores para efectuar ensayo de velocidad de pulso en el concreto.

Fuente: (6)

Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el hormigón mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, la semidirecta puede usarse tomando en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal, aplicando el teorema de Pitágoras.

2.3. Equipo necesario

Existen varios tipos de equipos, pero en lo esencial poseen transductores capaces de marcar el tiempo de propagación de una onda a través del concreto. El equipo cuenta con una barra de calibración, la que tiene grabado en su costado el tiempo de propagación del pulso por dicha barra. Para calibrarse se colocarán los transductores debidamente engrasados en los extremos de la barra calibradora y por medio del botón de ajuste, que se encuentra al frente del aparato, se iguala la lectura de la barra calibradora. El equipo proporciona grandes ventajas, entre ellas podemos mencionar su poco peso, fácil uso y manejo, pero sobre todo la confiabilidad en sus resultados, ya que una forma rápida y sencilla permite conocer el estado que guarda el concreto del elemento ensayado, presenta como desventaja, que los cables transmisores en varias ocasiones presentan falsos contactos debido al exceso de movimiento, con lo cual se dificulta efectuar las lecturas.

Figura 7. Equipo de ensayo velocidad de pulso



Fuente: Fotografía tomada durante realización de prueba de trabajabilidad.

El equipo y material básico que se usa para el ensayo de ultrasonido es:

- A. Microtéster.
- B. Transductores (Transmisor y receptor).
- C. Barra de aluminio (para calibración del Microtéster).
- D. Gel.
- E. Cinta métrica.
- F. Libreta de apuntes.
- G. Calculadora u hoja de cálculo.

2.4. Influencia del tipo y composición del concreto en el ensayo

Teóricamente la velocidad de pulso depende únicamente de las propiedades del material y no de la geometría, no es fácil estimar la relación que existe entre el pulso ultrasónico y la resistencia del concreto; pues el tipo de agregado, la relación agregado-cemento, la edad del agregado y las condiciones de curado influyen en ella. Se observa que la velocidad del sonido aumenta directamente a medida que lo hace la densidad del concreto.

2.5. Interpretación de resultados

El método puede emplearse para llevar el control del concreto en una construcción, esto se logra mediante el uso de cilindros de prueba. En ellos se hacen mediciones de la velocidad de pulso y resistencia a compresión, con estos datos se hace una gráfica de resistencia en contraposición con la velocidad de pulso que servirá como referencia y así poder hacer ensayos al concreto ya colocado en elementos estructurales, para lo cual basta con medir la velocidad de pulso en cada elemento y compararla con la gráfica obtenida de antemano en los cilindros de prueba.

La resistencia a compresión del hormigón puede determinarse usando la velocidad de pulso mediante correlaciones gráficas entre V y R obtenidas ensayando probetas. En las tablas V, VI y VII se muestran varias clasificaciones del concreto de acuerdo a la velocidad de pulso.

Tabla V. Clasificación del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Fuente:(6)

Tabla VI. Clasificación del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso

Evaluación la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros.	
Velocidad de pulso m/seg	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Fuente: (6)

Tabla VII. Clasificaciones del concreto de acuerdo al valor de la velocidad de pulso

Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.	
Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación m/seg
Selecciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Fuente: (6)

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Definición muestra de estudio

El objetivo del presente estudio fue obtener información sobre la relación que existe entre la resistencia a la compresión uniaxial de concretos (características físicas similares, diferentes dosificaciones de cemento) y la velocidad de pulso ultrasónico, midiendo ambas propiedades en probetas cilíndricas de las mezclas elaboradas a diferentes edades.

Figura 8. Planta de producción de la empresa Formaletas y Construcciones de Guatemala (FORCOGUA)



Fuente: Fotografía tomada en instalaciones de FORCOGUA.

3.2. Caracterización de materiales

Se contó con el apoyo de las empresas Formaletas y Construcciones de Guatemala FORCOGUA, y Cementos Progresos por medio de sus laboratorios y personal calificados.

3.2.1. Cemento

Se utilizó cemento mezclado del tipo ARI (alta resistencia inicial) marca Cementos Progreso, de acuerdo al fabricante cumple con lo indicado en la norma ASTM C-1157, fue el mismo para los concretos elaborados.

3.2.2. Agregados

Se utilizaron agregados pétreos triturados, de la empresa La Roca, los cuales son de uso regular en FORCOGUA, de acuerdo a las especificaciones de las normas ASTM aplicables se consideran adecuados para mezclas de concreto.

Tabla VIII Resultados caracterización agregados

Caracterización agregados		
Parámetro evaluado	Tipo de muestra	
	Arena caliza triturada	Grava triturada 1/2"
Peso específico (g/cm ³)	2.72	2.74
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1818.0	1619.0
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1631.0	1452.0
% de absorción	1.4	0.1

3.2.3. Aditivos

Se utilizaron los siguientes aditivos de acuerdo a sus características, de acuerdo el fabricante cumplen con la norma ASTM C-494.

- SIKA *Plastocrete*, aditivo fluidizante, reductor de agua y retardante de fraguado, de doble funcionalidad.
- SIKA *Viscocrete*, aditivo reductor de agua de alto rango.
-

Figura 9. Mezcladora mecánica para elaboración de mezcla de concreto



Fuente: Fotografía tomada en laboratorio de concreto de FORCOGUA.

3.3. Concretos

Se evaluaron tres mezclas de concretos con diferente contenido de cemento (4,5 y 6 sacos/m³), con fluidez (42-46cm) adecuada para concreto autonivelante o autocompactante y proporción en peso (1: 3.4: 3.4) iguales, el f'c de diseño para la mezcla de 5 sacos fue de 17.2 MPa (176.0 kg/cm²), todas

fueron elaboradas en mezcladora mecánica, bajo las mismas condiciones de manejo, curado y ensayo, identificadas de la siguiente manera:

- Mezcla de concreto 4 sacos **MC5**
- Mezcla de concreto 5 sacos **MC6**
- Mezcla de concreto 6 sacos **MC7**

En el cuadro a continuación se muestra la relación $f'c$ según la edad en días, para Cemento Pórtland normal y cemento de alta resistencia inicial.

Tabla IX. Valores de la relación $f'c$

Valores relación $f'c$					
Edad de hormigón, en días	3	7	28	90	360
Cemento Portland normal	0.40 $f'c$	0.65 $f'c$	1.00 $f'c$	1.20 $f'c$	1.35 $f'c$
Cemento Portland de alta resistencia inicial	0.55 $f'c$	0.75 $f'c$	1.00 $f'c$	1.15 $f'c$	1.20 $f'c$

Fuente: (5)

3.4. Evaluación de concretos

Los promedios de los valores (de resistencia y velocidad) medidos en cada edad de ensayo fueron tomados como representativos de cada uno de los diferentes concretos elaborados.

En las siguientes tablas se muestran resultados obtenidos y recolectados durante el desarrollo de los ensayos en estado fresco para ser analizados e interpretados.

3.4.1. Estado fresco

En la tabla X se muestran datos tales como $f'c$, agregado fino y agregado grueso que son constantes para los tres tipos de concreto estudiados, cantidad de cemento que intencionalmente se hacen variar según los propósitos del presente trabajo.

Tabla X. Dosificación mezclas de concreto evaluadas

Resultados concretos evaluados									
Tipo de concreto	$f'c$ diseño (kg/cm ²)	Materiales							
		Cemento (kg)	AF (kg)		AG (kg)		Agua (l)	Aditivos (ml)	
			Caliza	Arena de rio	1	2		Plastocrete reductor de agua (ml)	Viscocrete inclusor de aire (ml)
MC5	176.0	8.1	10.9	28.6	15.6	23.2	6.4	32.5	48.8
MC6		9.8	10.9	28.6	15.6	23.2	6.5	34.4	44.0
MC7		11.5	10.9	28.6	15.6	23.2	7.6	23.0	23.0

Los datos que se muestran en la tabla XI son obtenidos por lectura directa del equipo utilizado tales como temperatura, trabajabilidad y contenido de aire, mientras que la relación agua – cemento y masa unitaria son calculados a partir de los datos de la tabla X.

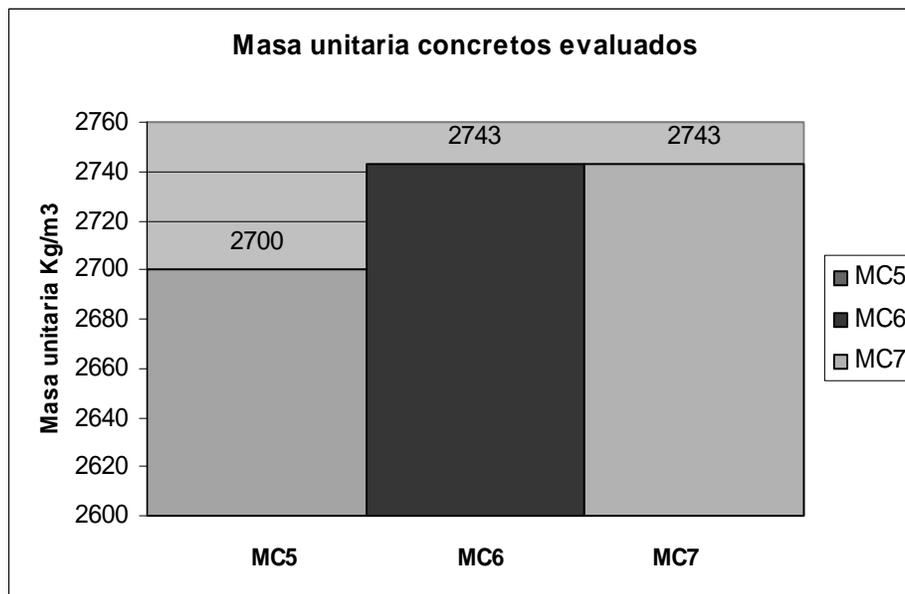
Resultados de varios parámetros evaluados en concreto fresco

Tabla XI. Resultados concretos evaluados estado fresco

Parámetro		Tipo de concreto		
		MC5	MC6	MC7
Temperatura °C	Ambiente	23.0		
	Mezcla	26.0	24.0	25.0
Trabajabilidad medición de fluidez (cm)		44.0	44.0	44.0
Masa unitaria kg/m ³		18.9	19.2	19.2
Contenido de aire (%)		7.5	7.5	6.5
Relación a/c		0.66	0.66	0.66

En la gráfica siguiente se muestran los resultados obtenidos de la masa unitaria para los tres tipos de concreto evaluados.

Figura 10. Resultados de masa unitaria en concretos



3.4.2. Estado endurecido

Las variables estudiadas fueron la resistencia a compresión uniaxial y velocidad de pulso ultrasónico; posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal, a través del cual se determinó el grado de relación entre las variables. Los modelos que se probaron para efectuar el ajuste analítico de los datos experimentales fueron: el lineal, logarítmico, cuadrático, cúbico, y exponencial.

3.4.2.1. Información probetas

Fueron elaboradas utilizando moldes normalizados de 15.2 x 30.5 cm (6x12”), se mantuvieron inmersas en agua hasta la fecha de ensayo, previo se eliminó la humedad en exceso dejándolas fuera de la pileta durante dos horas (igual para todos los ensayos), en estas condiciones se evaluó su masa, longitud, diámetro y se realizó el ensayo no destructivo, luego se nivelaron las probetas y se ensayaron a compresión.

Figura 11. Eliminación de exceso de humedad de probetas de concreto



Fuente: Fotografía tomada en laboratorio de FORCOGUA.

A continuación se presenta la variación que presentaron las probetas en su masa y altura, condición que afecta principalmente al ensayo de velocidad de pulso al encontrar diferentes condiciones del medio de propagación.

Tabla XII. Análisis probetas de concreto

Resultados analisis fisico probetas (12 por mezcla)				
Tipo de concreto	Masa (kg)		Altura (cm)	
	Promedio	Desviación estandar	Promedio	Desviación estandar
MC5	12500.8	69.0487	30.18	0.137477
MC6	12636.7		30.36	
MC7	12590.0		30.45	

Figura 12 . Resultados de masa en probetas de concreto

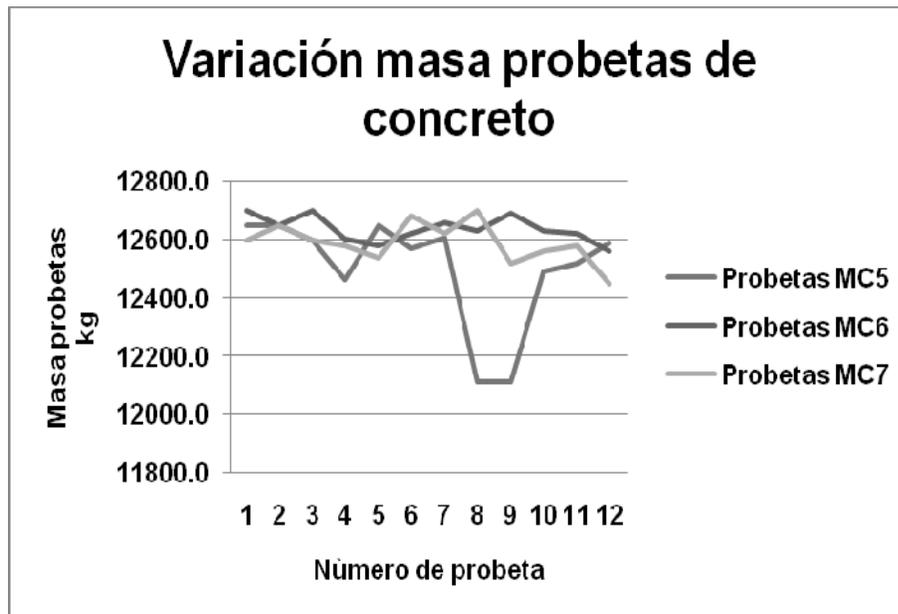
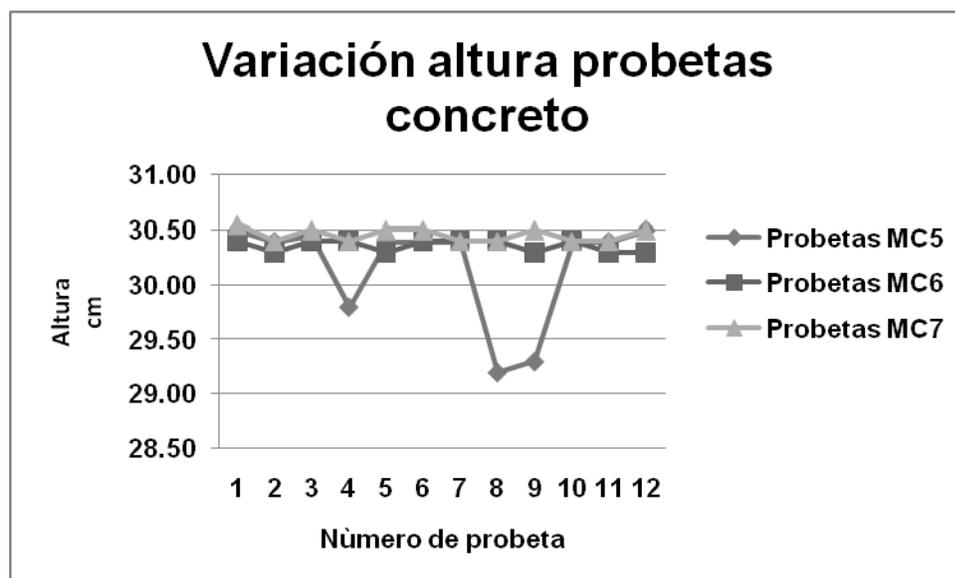


Figura 13. Resultados de altura en probetas de concreto



3.4.2.2. Método de ensayo para la velocidad de pulso en el concreto (ASTM C-597-02).

Se utilizó equipo perteneciente al Centro Tecnológico de Cementos Progreso. Después de calibrarlo con su barra de calibración se tomó lectura directa (longitudinalmente), luego se determinó la velocidad de pulso ultrasónico en el concreto, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = \frac{L}{T}$$

En donde:

V = velocidad de pulso, m/s

L = distancia entre los transductores, m

T = tiempo de tránsito, s

Ejemplo de cálculo de la velocidad de pulso ultrasónico:

1. Calibrar el microtester. Para ello se utiliza la una barra de aluminio que en un costado trae inscrito el valor de calibración que debe leerse en el microtester al colocar en sus extremos los transductores.
2. Colocar gel en cada uno de los transductores, con la finalidad de mejorar el contacto con la superficie del objeto a ensayar.
3. Colocar los transductores en los puntos previamente elegidos, cuidando que entre ellos no haya una distancia mayor que un metro.
4. Anotar la lectura del microtester, éste dato obtenido es el tiempo **T** en microsegundos **μs** y convertirlo en segundos **s**.

Por ejemplo, si la lectura es **87.2 μs**, se convierte en **s** así:

$$87.2 \cancel{\mu s} \left(\frac{1 \times 10^{-6} \text{ s}}{1 \cancel{\mu s}} \right) = 0.0000872 \text{ s}$$

5. Determinar la longitud L de la probeta o espaciamiento del objeto a medir. Convirtiendo si es necesario para expresarla en m.
6. Sabiendo que a velocidad constante $L = VT$ (Es decir que la distancia recorrida entre los transductores L es igual al producto de la velocidad V y el tiempo T) al despejar V de ésta ecuación obtenemos que

$$V = \frac{L}{T}$$

7. Para una de las mediciones particulares del ensayo se obtuvieron los valores :

$$L = 0.30 \text{ m} \quad T = 0.0000872 \text{ s}$$

Por lo que la velocidad de pulso es:

$$V = (0.30 \text{ m}) / (0.0000872\text{s}) = 3,440.36 \text{ m/s}$$

Con éste procedimiento y forma de cálculo se obtienen los valores de **velocidad de pulso** de la tabla XIII donde se adjuntan resultados de ensayo a compresión.

Figura 14. Ensayo de velocidad de pulso en el concreto



. Fuente: Fotografía tomada durante realización de ensayo de velocidad de pulso en el concreto en Centro de Tecnología del Concreto de Cementos Progreso. CETEC.

3.4.2.3. Método de ensayo estándar para la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C-39/C-39M-05e1).

Las muestras fueron ensayadas de acuerdo a lo indicado en las normas ASTM aplicables. Los moldes deben cumplir con ciertas características tales como indeformabilidad, estanqueidad para evitar pérdidas de pasta y ser de un material no absorbente. Se utilizó una máquina de ensayo del tipo universal, las características que pueden afectar la medición de la resistencia a la compresión incluyen una calibración precisa, rigidez longitudinal y lateral, estabilidad, alineamiento de sus componentes, tipo de plato de carga y el comportamiento de los asientos esféricos de los platos. También hay que considerar lo siguiente: capacidad de carga y sensibilidad máquina de ensayo.

Figura 15. Nivelación de probetas para ensayo de resistencia a compresión



. Fuente: Fotografía tomada después de ensayo de velocidad de pulso en el concreto en Centro de Tecnología del Concreto de Cementos Progreso. CETEC

En la Tabla XIII se muestra en forma los resultados de varios parámetros de concretos evaluados en estado endurecido. Se pueden consultar los informes de laboratorio en Anexo 1 y Anexo 2 en forma individual.

Tabla XIII Resultados concretos evaluados estado endurecido

Tipo de concreto	Tipo de ensayo	Edad (días)																							
		1 DIA						3 DIAS						7 DIAS						28 DIAS					
		Lectura microtester	Resultados	Promedio																					
MC5	Compresión (N/mm ²)	--	4.1		--	11.4	11.4	--	14.8	14.8	--	15.0	15.0	--	19.4	19.4	--	19.5	19.5						
		67.1	4536.0	4530.0	69.4	4536.0	4446.6	74.2	4100.0	4106.6	90.4	3360.0	3286.6	95.8	3170.0	3286.6	91.5	3330.0	3286.6						
		67.4	4296.0		70.3	4526.0		70.0	4140.0		70.7	4080.0		70.0	4100.0		70.0	4100.0		70.0	4100.0				
	Velocidad pulso (ms)	--	4.1		--	11.5	11.4	--	14.5	14.8	--	15.0	15.0	--	19.4	19.4	--	19.5	19.5						
		67.1	4536.0	4530.0	69.4	4536.0	4446.6	74.2	4100.0	4106.6	90.4	3360.0	3286.6	95.8	3170.0	3286.6	91.5	3330.0	3286.6						
		67.4	4296.0		70.3	4526.0		70.0	4140.0		70.7	4080.0		70.0	4100.0		70.0	4100.0		70.0	4100.0				
MC6	Compresión (N/mm ²)	--	5.6	5.7	--	13.5	13.2	--	16.8	17.2	--	17.5	17.2	--	21.6	21.6	--	22.2	21.8						
		67.2	4520.0		69.7	4360.0		74.6	4080.0		74.6	4080.0		74.6	4080.0		74.6	4080.0		74.6	4080.0				
		67.9	4460.0	4486.6	70.0	4330.0	4340.0	74.2	4100.0	4090.0	89.7	3380.0	3450.0	87.0	3490.0	3450.0	87.0	3490.0	3450.0						
	Velocidad pulso (ms)	67.8	4480.0		70.1	4340.0		74.2	4080.0		74.2	4080.0		74.2	4080.0		74.2	4080.0		74.2	4080.0				
		--	7.5		--	15.8	15.7	--	18.2	18.2	--	18.2	18.2	--	22.5	22.5	--	22.5	22.5						
		--	7.7	7.6	--	16.3	15.7	--	18.6	18.9	--	18.6	18.9	--	24.2	24.2	--	24.2	23.0						
Compresión (N/mm ²)	--	7.6		--	15.1	15.7	--	18.6	18.9	--	18.6	18.9	--	24.2	24.2	--	24.2	23.0							
	67.5	4536.0	4480.0	70.5	4316.0	4360.0	72.3	4290.0	4180.0	82.5	3680.0	3680.0	82.5	3680.0	3680.0	82.5	3680.0	3680.0							
	68.1	4466.0		69.7	4386.0		72.3	4290.0		72.3	4290.0		72.3	4290.0		72.3	4290.0		72.3	4290.0					
MC7	Velocidad pulso (ms)	68.5	4450.0	4480.0	69.5	4390.0	4360.0	72.6	4140.0	4180.0	87.3	3670.0	3680.0	87.3	3670.0	3680.0	87.3	3670.0	3680.0						

Se muestra en los siguientes gráficos el comportamiento de los resultados de resistencia a compresión respecto a la edad en días y Velocidad de pulso respecto a la edad en días.

Figura 16 . Resultados de resistencia a compresión concreto

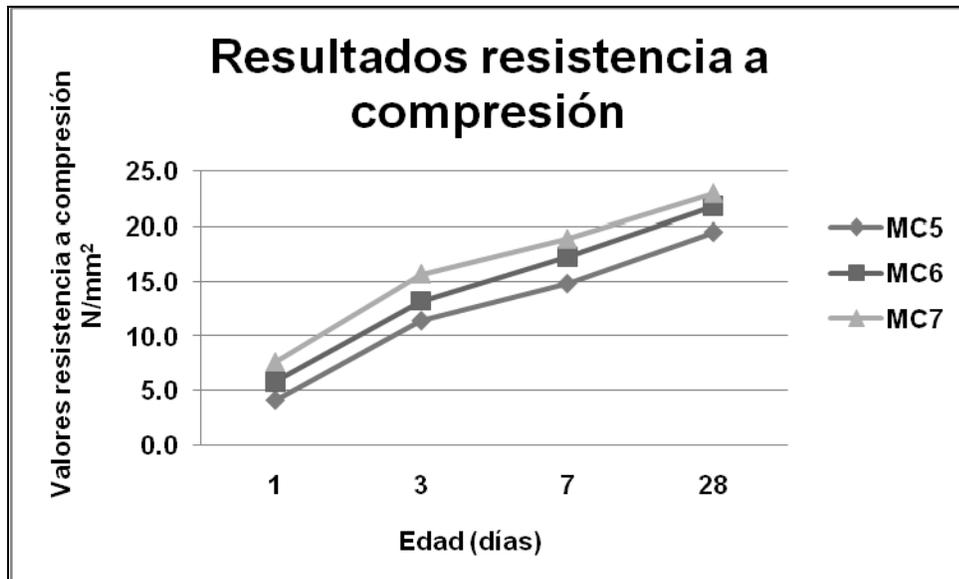
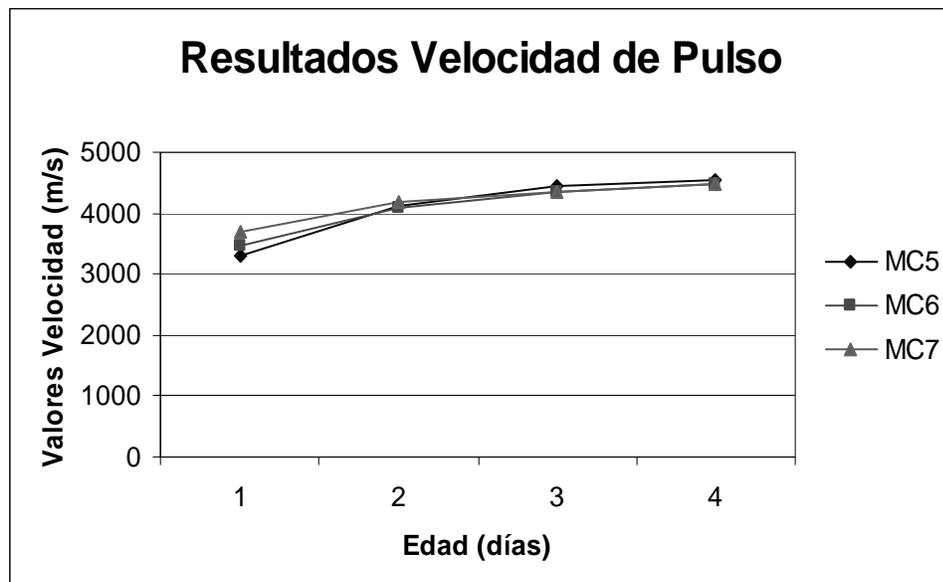


Figura 17. Resultados de velocidad de pulso en el concreto



En la siguiente tabla se comparan y comentan los resultados de velocidad de pulso respecto de la edad

Tabla XIV. Resultados ensayo velocidad de pulso

Edad (días)	Comparación de acuerdo a la edad del promedio de los resultados de velocidad de pulso V (m/s)	Comentario
1	$V\text{-MC5 (4553.0)} > V\text{-MC6 (4490.0)} < V\text{-MC7 (4480.0)}$	La mezcla con menor contenido de cemento tiene valores de velocidad de pulso mayor.
3	$V\text{-MC5 (4300.0)} < V\text{-MC6 (4340.0)} < V\text{-MC7(4360.0)}$	Las mezclas tienen valores de velocidad de pulso similares.
7	$V\text{-MC5 (4110.0)} > V\text{-MC6 (4090.0)} < V\text{-MC7 (4180.0)}$	Las mezclas tienen valores de velocidad de pulso similares.
28	$V\text{-MC5 (3290.0)} < V\text{-MC6 (3450.0)} < V\text{-MC7 (3680.0)}$	La mezcla con mayor contenido de cemento tiene valores de velocidad de pulso mayores.

3.4.3. Correlación entre los métodos evaluados

Se consideraron dos alternativas para el análisis de regresión en base a la edad de la probeta, siendo estas:

- Considerando 1, 3, 7 y 28 días.
- Considerando 3, 7 y 28 días.

La regresión permite determinar el grado de dependencia de las series de valores Y (**variable dependiente ED, ASTM C-39**) y X (**variable independiente END, ASTM C-805**), prediciendo el valor y estimado que se obtendría para un valor x que no esté en la distribución, esta puede ser:

- Dependencia funcional, si los puntos de la nube estuvieran todos sobre la recta de regresión.
- Correlación lineal, si los puntos no están todos sobre la recta de regresión.

Para cuantificar el grado de dicha correlación se usa el **coeficiente de correlación de Pearson (r)**, su valor está comprendido entre -1 (dependencia inversa) y 1 (dependencia directa), si r se acerca a -1 o a +1, la dependencia es fuerte y por tanto las predicciones que se realicen a partir de la recta de regresión serán bastante fiables. Para todos los concretos el análisis de correlación que mejor resultado dió fue regresión lineal simple, según el modelo siguiente:

$$Y = a x + b$$

Tabla XV. Resultados análisis de regresión Resistencia a compresión- velocidad de pulso

Resumen análisis de regresión			
Resistencia a compresión- Velocidad de pulso			
Tipo de concreto	Resultados considerados 1, 3, 7 y 28 días	Resultados considerados 3, 7 y 28 días	Comentarios
MC5	$y = -0.010x + 56.36$ $R^2 = 0.819$	$Y = -105.1x + 5788$ $R^2 = 0.959$	De acuerdo a los valores de R obtenidos, se observa la incidencia que tienen la edad (1 día) y las condiciones de la mezcla ($f'c$ mayor a edades más grandes), ya que para todas los concretos $R_{1,3,7,28} < R_{3,7,28}$
MC6	$y = -13325x + 68.99$ $R^2 = 0.817$	$y = -0.009x + 53.54$ $R^2 = 0.959$	
C7	$y = -13375x + 69.19$ $R^2 = 0.821$	$y = -0.010x + 60.46$ $R^2 = 0.962$	

El coeficiente de determinación obtenido para cada caso, significa que la variación en la resistencia a la compresión que está siendo explicada por medio de la velocidad de pulso es aproximadamente el valor de R (%), siendo el porcentaje restante producto de otras variables, tales como las propiedades

físicas de los agregados y las proporciones definidas de los componentes del concreto.

En los gráficos que se muestran en las figuras 18,19, 20, 21, 22 y 23 se muestran respectivamente para cada uno de los tipos de concreto evaluados MC5, MC6 y MC7 la correlación entre su resistencia a compresión y velocidad de pulso.

Figura 18. Resultados de regresión de MC5 a 1, 3 ,7 y 28 días

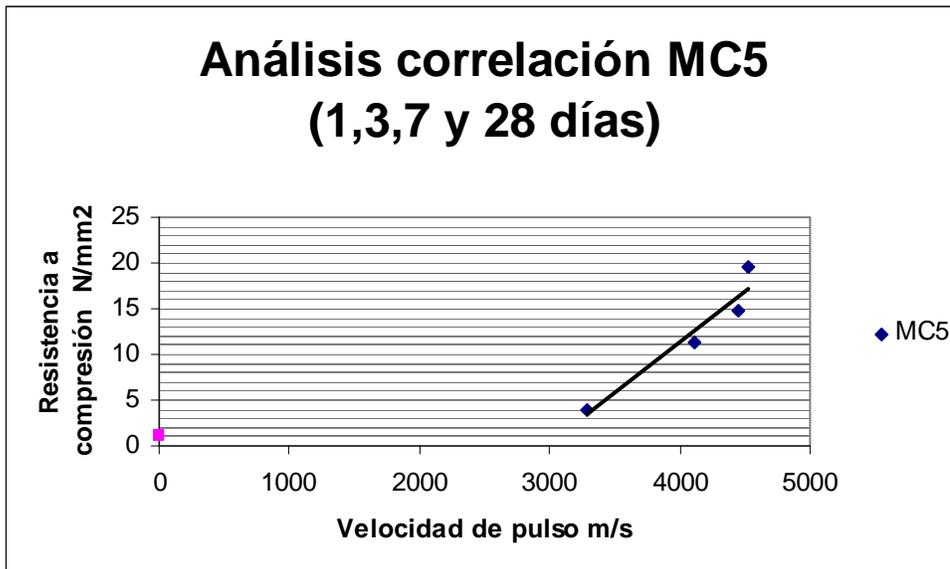


Figura 19. Resultados de regresión de MC5 a 3,7 y 28 días

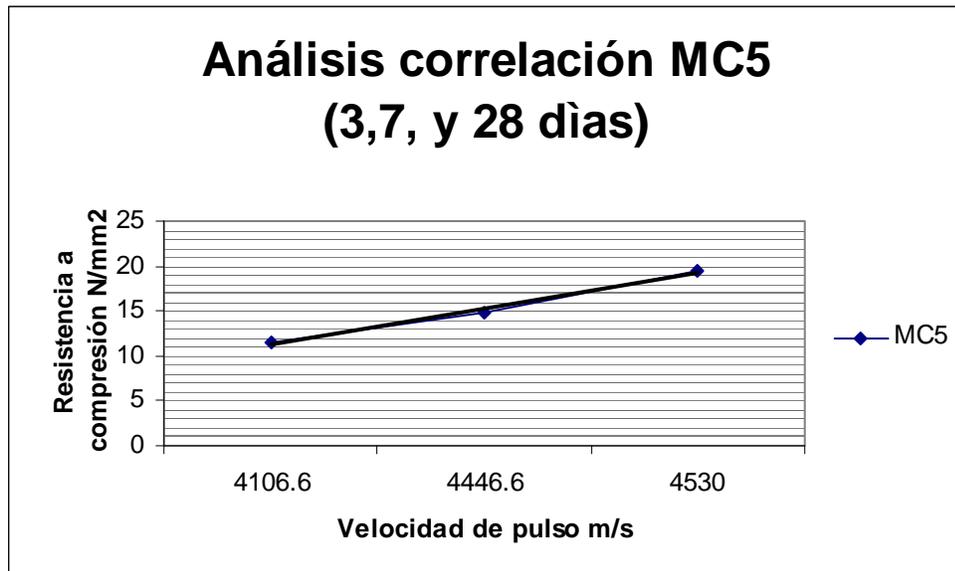


Figura 20. Resultados de regresión de MC6 a 1, 3,7 y 28 días

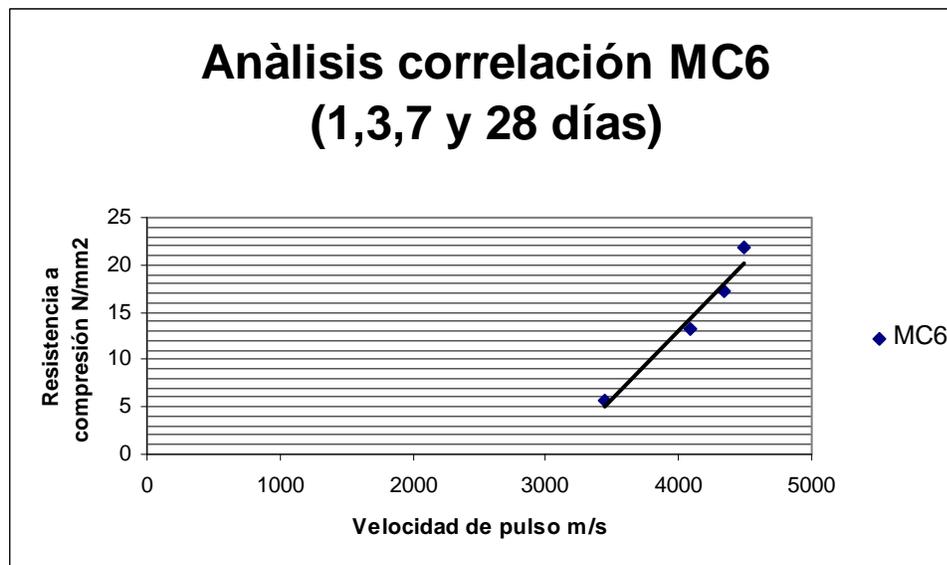


Figura 21. Resultados de regresión de MC6 a 3,7 y 28 días

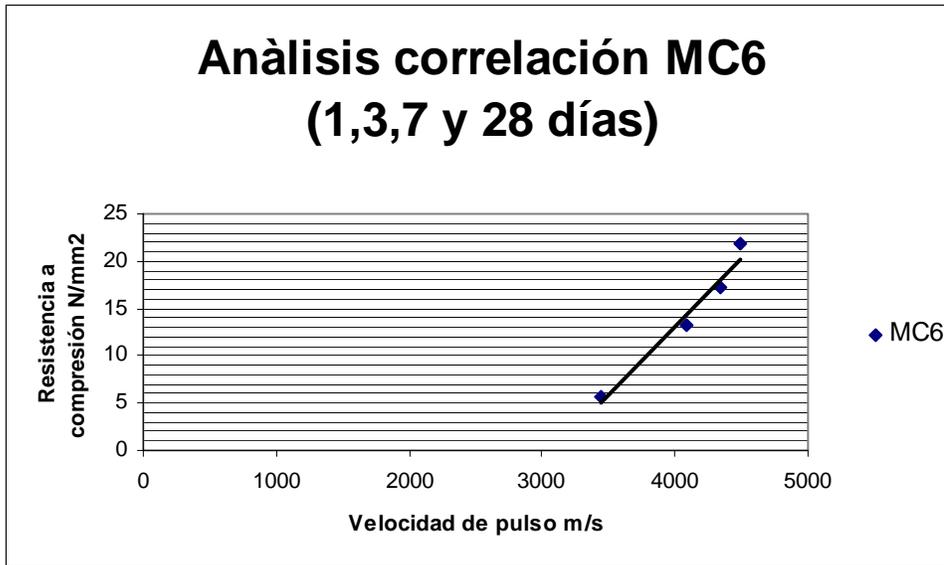


Figura 22. Resultados de regresión de MC7 a 1, 3, 7 y 28 días

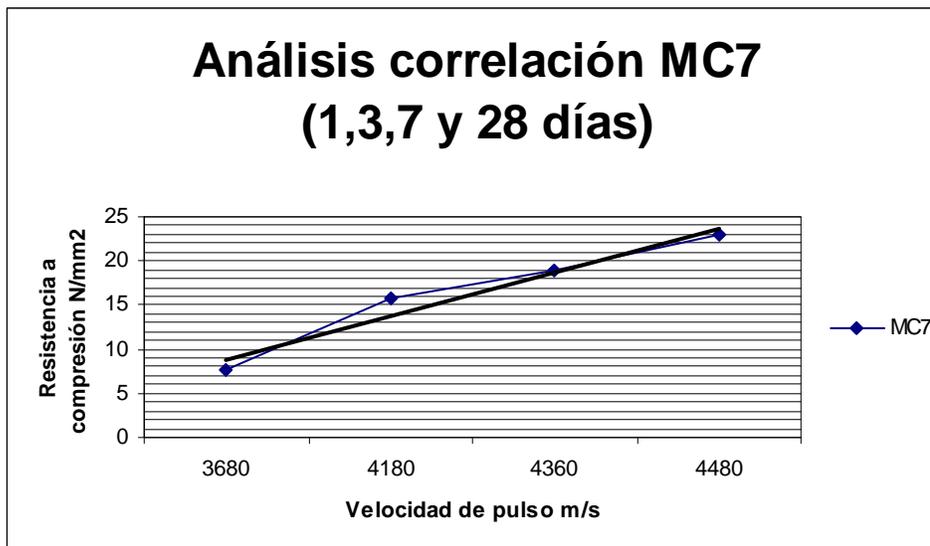
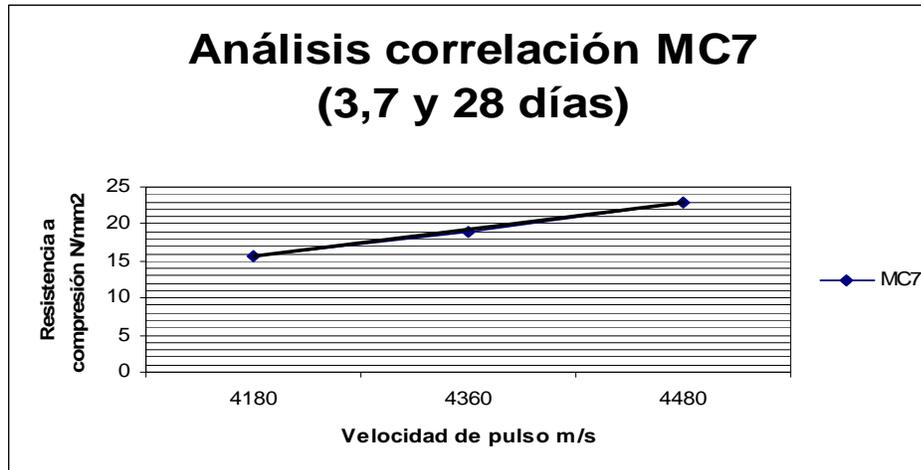


Figura 23. Resultados de regresión de MC7 a 3,7 y 28 días



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los reglamentos, a pesar de utilizar criterios diferentes para establecer el rechazo o la aceptación del concreto ejecutado, tienen en común los lineamientos generales de control de calidad que se resumen a continuación:

- Las variaciones que se producen en concretos elaborados con una misma dosificación nominal y el mismo equipo de elaboración, se analizan siguiendo el criterio estadístico mediante la curva de distribución normal o gaussiana.
- Se tipifica a los concretos sobre la base de su resistencia característica a la edad de 28 días.

4.1. Dosificación de las mezclas

De acuerdo al diseño se mantuvo constante la proporción en masa (1: 3.4: 3.4), variando la dosificación del cemento utilizado, el contenido de cemento en la mezcla incide en el ensayo de ultrasonido.

4.2. Estado fresco

4.2.1. Trabajabilidad

Evaluada por el método del cono de Abrams, de acuerdo a los resultados obtenidos las mezclas de concreto **MC5, MC6 y MC7** tuvieron resultados de trabajabilidad indicados en la tabla IX correspondiente a 44 cm , dosificando

adecuadamente los aditivos para obtener iguales condiciones en todos los tipos de concreto.

4.2.2. Temperatura de la mezcla

De acuerdo a los resultados obtenidos el gradiente de temperatura (ambiente-mezcla) fue el esperado para las mezclas de concreto evaluadas **MC5, MC6 y MC7**. que según tabla XI es de 26, 24 y 25 grados centígrados respectivamente.

4.2.3. Relación a/c

De acuerdo a los resultados obtenidos, las mezclas de concreto **MC5, MC6 y MC7** tuvieron valores de relación a/c similares ($66.0 \pm 1 \%$), estos se ven influenciados por el uso de los aditivos, la cantidad de agua es una característica que incide en el ensayo de ultrasonido, ver tabla XI.

4.2.4. Masa unitaria

De acuerdo a los resultados obtenidos (ver tabla XI) los pesos unitarios de las mezclas son similares, **MC6 = MC7** (2743 kg/cm^3) > **MC5** (2700 kg/cm^3), estos valores se ven influenciados por los agregados y la cantidad de cemento utilizados. La densidad del concreto da una estimación de su resistencia a compresión y es una característica que incide en el ensayo de ultrasonido.

4.2.5. Contenido de aire

De acuerdo a los resultados obtenidos (ver tabla XI), el contenido de aire de las mezclas es similar, **MC5 = MC6** (7.5 %) > **MC7** (6.5 %), este parámetro es una característica que incide en el ensayo de ultrasonido.

4.3. Estado endurecido

4.3.1. Resistencia a compresión

Los valores de resistencia a compresión (Tabla XIII) se ven influenciados por la edad y el contenido de cemento de cada mezcla, de acuerdo a los resultados obtenidos para **MC5** (4.1, 11.4, 14.8 y 19.5 N/mm²), **MC6** (5.8, 13.2, 17.2 y 21.8 N/mm²) y **MC7** (7.6, 15.7, 18.9 y 23.0 N/mm²) a 1, 3, 7 y 28 días de edad respectivamente, el valor $f'_{c_{28 \text{ días}}}$ de **MC5** (19.5 N/mm²) < **MC6** (21.8 N/mm²) < **MC7** (23.0 N/mm²).

4.3.2. Velocidad de pulso

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla XIII) para **MC5** (4553.0, 4300.0, 4110.0 y 3290.0 m/s), **MC6** (4490.0, 4340.0, 4090.0 y 3450.0 m/s) y **MC7** (4480.0, 4360.0, 4180.0 y 3680.0 m/s) a 1, 3, 7 y 28 días de edad respectivamente, lo que refleja que para las edades consideradas, es inversamente proporcional a la edad de ensayo (mayor edad menor valor de velocidad), para 1 día **V-MC5 > V-MC6 < V-MC7**, para 3 días **V-MC5 < V-MC6 < V-MC7**, para 7 días **V-MC5 > V-MC6 < V-MC7** y para 28 días **V-MC5 < V-MC6 < V-MC7**.

4.4. Correlación resistencia a compresión-velocidad de pulso

Como ya se indicó, existen varios factores que pueden afectar los resultados que se obtienen al utilizar este método, para el presente estudio se consideran los siguientes:

- Dosificación de cemento para cada mezcla
- La edad y características físicas y mecánicas de cada probeta

El análisis de regresión lineal incluyó la población total de concretos estudiados para cada caso, para todos los concretos el análisis que mejores resultados dió fue regresión lineal simple. De acuerdo a los resultados obtenidos el coeficiente de Pearson $R_{1,3,7,28} < R_{3,7,28}$ para todos los concretos, y para **MC5 (0.82 y 0.96)**, **MC6 (0.82 y 0.96)** y **MC7 (0.82 y 0.96)** respectivamente, los valores muestran que las variaciones en la resistencia a la compresión que están siendo explicadas por medio de la velocidad de pulso son aproximadamente el valor del coeficiente determinado en cada caso (r^2), siendo el porcentaje restante producto de otras variables (propiedades físicas de los agregados, proporciones definidas de los componentes del concreto, otras). Ver tabla XIII.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en el presente estudio corresponden a tipos de concretos con características particulares, por lo que las ecuaciones de los modelos sólo pueden ser aplicados en concretos similares.
2. Concretos con la misma velocidad de pulso pueden tener diferencia significativa en su resistencia, como producto de otras fuentes de variación. La utilización de moldes que no cumplan con las especificaciones pueden afectar los resultados.
3. Las características físicas de las probetas de ensayo (masa y altura) varían independientemente de la edad y el contenido de cemento. Los valores de resistencia a compresión aumentan conforme la edad y el contenido de cemento.
4. Los valores de velocidad de pulso se ven influenciados por la edad y el contenido de cemento de la siguiente forma:
 - A la edad de 1 día los resultados no reflejan el contenido de cemento de cada mezcla (**$V-MC5 > V-MC6 < V-MC7$**).
 - A la edad de 28 días los resultados reflejan el contenido de cemento de cada mezcla (**$V-MC5 < V-MC6 < V-MC7$**).

5. Los valores de coeficiente de *Pearson* (r^2), se ven influenciados por la edad y el contenido de cemento de la siguiente forma: $R_{1,3,7,28} < R_{3,7,28}$ para todos los concretos.

6. Existe correlación directa entre los métodos evaluados para cada concreto, los valores de coeficiente de *Pearson* en cada caso muestran una dependencia fuerte.

RECOMENDACIONES

1. La principal aplicación del método es para evaluar concretos ya colocados, realizar estudios similares considerando edades de ensayo mayores.
2. Cuando se utilice el método de velocidad de pulso para control de calidad en fundiciones de concreto, además de las probetas de control de calidad en laboratorio, es recomendable trabajar con cilindros curados en condiciones similares a la de la obra, por lo que en la medida de lo posible deben de realizarse los dos procedimientos.
3. Debido a la influencia que tiene la humedad en el ensayo de la velocidad de pulso en concreto, se recomienda para estudios similares, dejar que las probetas pierdan la humedad en exceso antes de su ensayo.
4. El control de calidad del concreto en estado fresco y endurecido requiere de personal calificado y capacitado para su realización, por lo que deberá de evaluarse y actualizarse constantemente al personal responsable.

5. Impulsar el uso de técnicas de ensayo END, recomendando a los laboratorios divulgar las ventajas de su aplicación. Atender las recomendaciones y limitaciones para cada método de ensayo, se deben calibrar regularmente los equipos.

6. Para ensayo de velocidad de pulso en el concreto In situ , elegir la forma mas adecuada de medición mediante transmisión semidirecta o indirecta cuando no es posible acceder a las dos caras del elemento a ensayar en forma directa (Ver figura 6 página 18)

BIBLIOGRAFÍA

1. Kumar Mehta, P.: **Avances en la Tecnología del concreto.** Instituto Mexicano del cemento y del concreto. A.C. Revista Construcción y Tecnología 2000. www.imcyc.com.mx/revista/2000/.../concreto.htm
2. **ASTM Book of standards.**
3. COGUANOR. **Normas relacionadas con la industria de la construcción.**
4. Instituto de Ingeniería. **Manual de Tecnología del concreto.** Comisión Federal de Electricidad. México. Limusa Noriega Editores 1994.
5. Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
6. Solís Carcaño Rómel, Baeza Pereyra Julio. Predicción de la resistencia a del concreto con bas4e en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. Ingeniería Revista Académica mayo-agosto. Vol. 8, No. 2 Universidad autónoma de Yucatán, Mérida, México pp 41-52.

7. Segovia, Maximiliano. **Aplicación de ensayos no destructivos en la evaluación de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión.** IV conferencia panamericana de ensayos no destructivos. Argentina 2007
8. Soto Olivares, Armando. **Los conceptos de probabilidad en la evaluación de la calidad del hormigón.** Escuela Tecnológica, Universidad de Santiago.
9. Muñoz Barrantes, Jorge. Rivas García, Erick. Correlación entre pruebas destructivas y pruebas no destructivas para medir propiedades mecánicas del concreto hidráulico. Informe del Trabajo Final de Graduación Grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <http://hdl.handle.net/2238/254>
10. Dámazo Juárez, José Daniel. **Las estructuras no son eternas**
www.lmcyc.com Construcción y Tecnología. Mayo 2006.
11. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Influencia de las propiedades Físicas de los agregados en la técnica de Pulso ultrasónico para predecir la resistencia a compresión del concreto. Facultad de Ingeniería , Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Vol 26 No. , abril 2003.

12. Norma venezolana COVENIN 1976 - 2003. **Concreto. Evaluación y Métodos de ensayo. 3era revisión.** Fondonorma 2003. Premezclados Caribe, BRS ingenieros, CEMEX Concretos, Cámara de la construcción, Cementos Caribe. MBT de Venezuela. 2003.

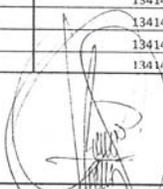
13. Rodríguez González, Manuel y Bonal Cáceres, Rolando. **El contenido de agua en el concreto y su incidencia en el valor de la velocidad de pulso en el concreto.** Sexta conferencia sobre tecnología de equipamientos. Depto. de Física Universidad central de las Villas. Cuba

ANEXO 1
INFORME DE ENSAYO DE ULTRASONIDO

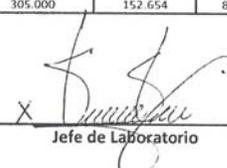
	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	13414
			FECHA	2009-07-22
			PÁGINA	1 de 1
			ÁREA DE LAB.	CP
Cliente	CETEC	Procedencia	FORCOGUA	
Dirección	-	Proyecto	<small>TESIS ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR LA NORMA ASTM C-597-02 (MÉTODO ENSAYO PARA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO), ESTUDIANTE NERY CONTRERAS</small>	
Contacto	ING. MARIO DE LEON	Analista(s)	EO & JR	
Teléfono	-	Fecha de Ensayo	28/07/2009	

INFORME DE ENSAYO DE ULTRASONIDO

LECTURA BARRA	MEZCLA	IDENTIFICACIÓN	MASA (kg)	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	LECTURA MICRO-TESTER	VELOCIDAD m/seg
30.60	M-1	13414-10	12.650	305.000	152.527	67.10	0.00455
30.60	M-1	13414-11	12.650	304.000	152.400	67.10	0.00453
30.60	M-1	13414-12	12.600	304.500	152.400	67.40	0.00452
30.60	M-2	13414-22	12.700	304.000	152.654	67.20	0.00452
30.60	M-2	13414-23	12.650	303.000	152.654	67.90	0.00446
30.60	M-2	13414-24	12.700	304.000	152.781	67.80	0.00448
30.60	M-3	13414-34	12.600	305.500	152.654	67.50	0.00453
30.60	M-3	13414-35	12.650	304.000	152.654	68.10	0.00446
30.60	M-3	13414-36	12.600	305.000	152.400	68.50	0.00445
31.00	M-1	13414-7	12.460	298.000	152.654	69.40	0.00429
31.00	M-1	13414-8	12.650	304.000	152.781	70.30	0.00432
31.00	M-1	13414-9	12.570	304.000	152.654	70.90	0.00429
31.00	M-2	13414-19	12.600	304.000	152.654	69.70	0.00436
31.00	M-2	13414-20	12.580	303.000	152.781	70.00	0.00433
31.00	M-2	13414-21	12.620	304.000	152.908	70.10	0.00434
31.00	M-3	13414-31	12.580	304.000	152.400	70.50	0.00431
31.00	M-3	13414-32	12.540	305.000	152.400	69.70	0.00438
31.00	M-3	13414-33	12.680	305.000	152.400	69.50	0.00439
30.60	M-1	13414-4	12.610	304.000	152.654	74.20	0.00410
30.60	M-1	13414-5	12.110	292.000	152.654	70.00	0.00417
30.60	M-1	13414-6	12.110	293.000	152.654	70.70	0.00414
30.60	M-2	13414-16	12.660	304.000	152.654	74.60	0.00408
30.60	M-2	13414-17	12.630	304.000	152.654	74.20	0.00410
30.60	M-2	13414-18	12.690	303.000	152.654	74.20	0.00408
30.60	M-3	13414-28	12.620	304.000	152.908	72.30	0.00420
30.60	M-3	13414-29	12.700	305.000	152.654	72.60	0.00420
30.60	M-3	13414-30	12.520	304.000	152.654	73.50	0.00414
31.20	M-1	13414-1	12.490	304.000	152.400	90.40	0.00336
31.20	M-1	13414-2	12.520	304.000	152.908	95.80	0.00317
31.20	M-1	13414-3	12.590	305.000	152.527	91.50	0.00333
31.20	M-2	13414-13	12.630	304.000	152.654	87.00	0.00349
31.20	M-2	13414-14	12.620	303.000	152.654	89.70	0.00338
31.20	M-2	13414-15	12.560	303.000	153.162	87.30	0.00347
31.20	M-3	13414-25	12.560	304.000	152.527	82.50	0.00368
31.20	M-3	13414-26	12.580	304.000	152.654	82.60	0.00368
31.20	M-3	13414-27	12.450	305.000	152.654	83.10	0.00367



 Analista



 Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

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.

ANEXO 2
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE M1, M2 Y M3

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT:	13414											
		FECHA:	2009-07-22											
		PÁGINA:	1 de 3											
		IMPRESIÓN:	2009-08-20											
Cilindro No.	FORCOGUA													
Dirección:	TESIS: ESTIMACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZADO ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR NORMA ASTM C-597-02 (METODO DE ENSAYO PARA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO) ESTUDIANTE NERY CONTRERAS VILLANUEVA													
Contacto:	ING. MARIO DE LEON	Analista(s):	EY / EO											
Teléfono:														
RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO														
Cilindro No.	Ubicación o Mezcla	Flujo (ctm)	Rel. A/C	% Aire	M.U. (kg/m ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia N/mm ²	Resistencia lb/pulg ²	Tipo de Falla
1	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.49	18241.51	4.12	597	1
2	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.52	18363.32	3.95	573	1
3	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.59	18271.93	4.06	588	1
4	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.61	18302.37	11.41	1655	1
5	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.11	18302.37	11.36	1648	1
6	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.11	18302.37	11.46	1662	1
7	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.46	18302.37	14.75	2140	1
8	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.65	18332.83	14.46	2097	1
9	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.57	18302.37	15.04	2182	1
10	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.65	18271.93	19.57	2838	1
11	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.66	18241.51	19.46	2822	1
12	M1	CILINDRO	44.00			2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.60	18241.51	19.36	2807	1
Observaciones:														
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.														

Laboratorio de Pruebas
 Cementos Progreso, S.A.

CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 13414
FECHA: 2009-07-22
PÁGINA: 1 de 3
IMPRESIÓN: 2009-08-20

CETEC

Procedencia: FORCOGUA

Proyecto: TESIS: ESTIMACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZADO ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR NORMA ASTM C-597/02 (METODO DE ENSAYO PARA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO) ESTUDIANTE NERY CONTRERAS VILLANUEVA

Analista(s): ING. MARIO DE LEON

CEMEX

Analista(s): EY / EO

Ing. Mario de León M.
Jefe de Laboratorio

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

Cilindro No. Lab.	Cliente	Ubicación o Mezcla	Flujo (cm)	Rel. A/C	% Aire	M.U. (kg/m ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Fallo
													N/mm ²	lb/pulg ²	
13	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.63	18271.93	5.60	813	1
14	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.62	18302.37	5.56	807	1
15	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.66	18424.38	6.05	878	1
16	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.66	18302.37	13.50	1958	1
17	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.63	18302.37	12.63	1832	1
18	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.69	18302.37	13.45	1950	1
19	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.60	18302.37	16.83	2442	1
20	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.58	18332.83	17.22	2497	1
21	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.62	18363.32	17.48	2535	1
22	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.70	18902.37	21.60	3133	1
23	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.65	18302.37	22.17	3216	1
24	M2	CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.70	18332.83	21.63	3138	1

Observaciones:

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.

Tipos de Fallo





CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 13414
 FECHA: 2009-07-22
 PÁGINA: 1 de 3
 IMPRESION: 2009-08-20

Procedencia: FORCOGUA

Proyecto: TESIS: ESTIMACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZADO ENSAYO NO DESTRUCTIVO RECOMENDADO POR NORMA ASTM C-597-02 (METODO DE ENSAYO PARA VELOCIDAD DE PULSO EN EL CONCRETO) ESTUDIANTE NERY CONTRERAS VILLANUEVA

Analista(s): ING. MARIO DE LEON EY/EO

Ing. Mario de León M.
 Jefe de Laboratorio

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO																
Cilindro No.	Lab.	Cliente	Ubicación o Mezcla	Flujo (cm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/m ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Falla
														N/mm ²	lb/pulg ²	
25	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.56	18271.93	7.45	1080	1
26	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.56	18302.37	7.70	1117	1
27	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-22	1	2500	12.45	18302.37	7.61	1104	1
28	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.62	18363.32	15.78	2289	1
29	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.70	18302.37	16.34	2370	1
30	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-24	3	2500	12.52	18302.37	15.13	2194	1
31	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.58	18241.51	18.24	2645	1
32	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.54	18241.51	18.58	2685	1
33	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-07-28	7	2500	12.68	18241.51	19.78	2870	1
34	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.60	18302.37	22.54	3269	1
35	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.65	18302.37	24.42	3541	1
36	M 3		CILINDRO	44.00				2009-07-21	2009-08-18	28	2500	12.60	18241.51	22.20	3219	1

Observaciones:

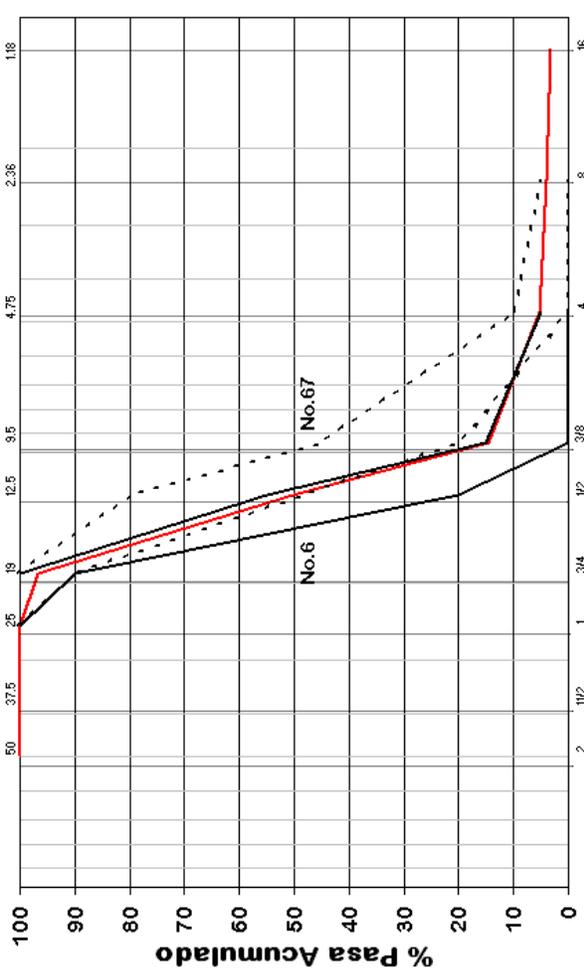
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.



Tipos de Falla

Calificación de Ejecución
 CENTRO TECNOLÓGICO, CEMENTOS PROGRESO

ANEXO 3
INFORME DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO GRUESO

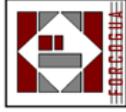
	Laboratorio Central Planta Zona 6 km 5.5 Antigua carretera a Chianautla																															
AGREGADO GRUESO (6 67) Granulometría ASTM C-33	CLIENTE: Forcogua CONTACTO: Ing. Marcelo Quiñonez Guerrero MUESTRA: Agregado Grueso Triturado 1/2" PROCEDENCIA: La Roca	OT: Fecha: 29/06/2009 Laboratorio: Zona 6 Analista: Gil Grijalva Fecha Ensayo: 29/06/2009 Supervisor: Aprobado Fecha:																														
Ing. Marcelo Quiñonez G. Jefe de Laboratorio																																
INFORME																																
																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAMIZ (")</th> <th>2</th> <th>1 1/2</th> <th>1</th> <th>3/4</th> <th>1/2</th> <th>3/8</th> <th>4</th> <th>8</th> <th>16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TAMIZ (mm)</td> <td>50</td> <td>37.5</td> <td>25</td> <td>19</td> <td>12.5</td> <td>9.5</td> <td>4.75</td> <td>2.36</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>% Que Pasa</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>96.8</td> <td>50.3</td> <td>14.6</td> <td>5.2</td> <td>4.0</td> <td>3.3</td> </tr> </tbody> </table>			TAMIZ (")	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	8	16	TAMIZ (mm)	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	% Que Pasa	100.0	100.0	100.0	96.8	50.3	14.6	5.2	4.0	3.3
TAMIZ (")	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	8	16																							
TAMIZ (mm)	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18																							
% Que Pasa	100.0	100.0	100.0	96.8	50.3	14.6	5.2	4.0	3.3																							
ENSAYO COMPLETO DEL AGREGADO Densidad Relativa (ss) 2.74 Absorción (%) 1.07 Pasa Tamiz 0.075mm (%) 1.0 Módulo de Finura (MF) 6.76 Módulo de Hudson (A) 2.22 Masa Unitaria Compactada (kg/m³) 1,619 Masa Unitaria Suelta (kg/m³) 1,452 Desgaste Máq. de Los Angeles (%) Pérdida Sulfato de Sodio (%) % Humedad OBSERVACIONES:																																

ANEXO 4
INFORME CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO



**Laboratorio Central
Planta Zona 6**

Km. 5.5 Antigua Carretera a Chinuatla



**AGREGADO FINO
MANUFACTURADO
NSA***

*Límites para Arena Manufacturada

OT:

Fecha:

Laboratorio:

Analista:

Fecha Ensayo:

Supervisor:

Aprobado Fecha:

CLIENTE: Forcogua

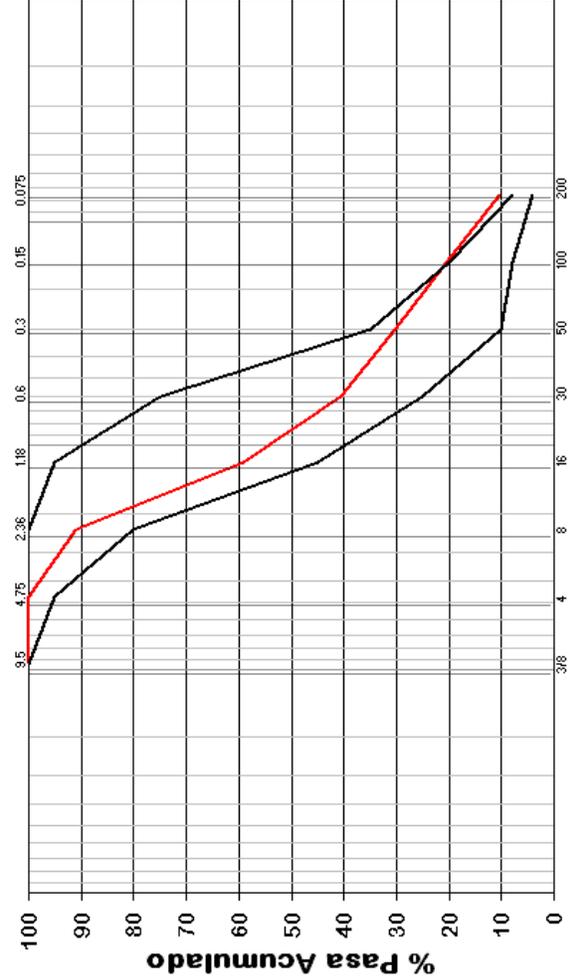
CONTACTO: Ing. Marcelo Quiñonez Guerrero

MUESTRA: Arena Caliza Triturada

PROCEDENCIA: La Roca

Ing. Marcelo Quiñonez
Jefe de Laboratorio

INFORME



TAMIZ (")	3.8	4	8	16	30	60	100	200
TAMIZ (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
% Que Pasa	100.0	100.0	91.0	59.0	40.6	30.2	20.4	10.4

ENSAYO COMPLETO DEL AGREGADO

Densidad Relativa (ss)	2.72
Absorción (%)	1.35
Materia Orgánica (color)	0
Pasa Tamiz 0.075mm (%)	10.4
Módulo de Finura (MF)	2.59
Módulo de Hudson (A)	6.52
Masa Unitaria Compactada (kg/m³)	1,818
Masa Unitaria Suelta (kg/m³)	1,631
Masa Unitaria Suelta Humeda (kg/m³)	1,634
Pérdida Sulfato Sodio (%)	
Humedad (%)	

OBSERVACIONES: