



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

**EVALUACIÓN DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO
ENTREGADO EN OBRA POR CAMIONES MEZCLADORES EN EL
DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, SEGÚN LA NORMA ASTM C-94**

Sergio Armando Irungaray Sierra

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, julio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO
ENTREGADO EN OBRA POR CAMIONES MEZCLADORES EN EL
DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, SEGÚN LA NORMA ASTM C-94**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

SERGIO ARMANDO IRUNGARAY SIERRA
ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Félix Rosendo Miranda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

EVALUACIÓN DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO ENTREGADO EN OBRA POR CAMIONES MEZCLADORES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, SEGÚN LA NORMA ASTM C-94,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 31 de mayo de 2007.

Sergio Armando Irungaray Sierra

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la vida y bendiciones.
- Mis padres** Sergio Irungaray Suárez.
Liria Sierra de Irungaray.
Por brindarme todo su amor, apoyo y confianza, para guiarme por el camino del bien.
- Mis hermanas** Mónica Irungaray Sierra.
Andrea Irungaray Sierra.
Quienes con su cariño y apoyo han sido motivo de inspiración para seguir adelante.
- Mi sobrinita** Rocío Elizabeth.
Por ser mi nueva fuente de inspiración para seguir luchando en la vida.
- Mi novia** Marlene Monroy.
Por su amor, apoyo incondicional y comprensión, he logrado cumplir mis metas.
Por ser mi fuente de inspiración.
- Mi asesor** Ing. Sergio Castañeda Lemus.
Por su valiosa colaboración y apoyo en el desarrollo del trabajo de graduación.

Duracreto Por la confianza y el apoyo incondicional que me brindaron para el desarrollo de la evaluación, en especial al Ing. Amilcar Bances.

Mi familia en general Por su cariño y apoyo constante durante mi vida.

Mis amigos y compañeros Por brindarme su amistad y apoyo en diferentes momentos de mi vida.

La Facultad de Ingeniería

La Universidad de San Carlos de Guatemala

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Nuestro Padre.
Mis padres	Sergio Armando Irungaray Suárez. Liria Anabella Sierra Winter de Irungaray.
Mis hermanas	Mónica Anabella Irungaray Sierra. Liria Andrea Irungaray Sierra.
Mi sobrinita	Rocío Elizabeth Irungaray.
Mi novia	Marlene Monroy Morales.
Mis abuelitos	Liria Arleta Winter de Sierra. José Ramón Sierra Chávez. Antonia Chávez vda. de Sierra. Abigail Suárez vda. de Irungaray. Enrique Irungaray Pinzón D.E.P.
Mi familia	En general a todos mis tíos, primos, sobrinos y padrinos.
Mi asesor	Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus.
Mis amigos	Amilcar Ordóñez, César Fajardo, Christian Barahona, Cristian Molina, Enrique De León, Felipe Duarte, Gustavo Figueroa, Juan José Donis, Lester Escobar, Luis Carrera, Luis Orellana, Manuel Cerezo,

Rodolfo Rosales, Rodrigo Pacheco, Sergio De León,
Sergio Rivera, Willy López.

Mi Universidad

Gloriosa Tricentennial Universidad de San Carlos de
Guatemala.

Mi Patria

Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV

1. FUNDAMENTOS SOBRE EL CONCRETO

1.1	Definición	01
1.2	Materiales	02
1.2.1	Cemento	02
1.2.1.1	Cemento Pórtland	02
1.2.1.1.1	Cemento Pórtland blanco	04
1.2.1.2	Cementos mezclados	04
1.2.1.2.1	Cementos de albañilería	04
1.2.1.2.2	Cementos mezclados	05
1.2.1.3	Cementos expansivos	05
1.2.1.4	Cementos especiales	06
1.2.2	Agua de mezclado para concreto	07
1.2.3	Agregados para concreto	09
1.2.4	Aditivos para concreto	12
1.3	Control de calidad del concreto	13
1.3.1	Estado fresco	14
1.3.2	Estado endurecido	15
1.4	Concretos especiales	17

2. CONCRETO PREMEZCLADO

2.1	Definición _____	19
2.2	Proceso de producción concreto premezclado_____	19
2.2.1	Control, manejo y almacenamiento de materiales____	20
2.2.1.1	Cemento_____	20
2.2.1.2	Agua de mezclado_____	20
2.2.1.3	Agregados_____	21
2.2.1.4	Aditivos_____	22
2.2.2	Dosificación de materiales_____	22
2.2.2.1	Planta de dosificación_____	23
2.2.3	Mezclado del concreto_____	24
2.2.3.1	Concreto mezclado en planta_____	25
2.2.3.1.1	Mezcladora estacionaria_____	25
2.2.3.2	Concreto mezclado en camión_____	25
2.2.3.3	Concreto mezclado en dos fases_____	26
2.3.	Transporte a la obra_____	26
2.3.1	Camiones Mezcladores_____	28
2.3.2	Remezclado del concreto_____	30

3. PLANTA DURACRETO

3.1	Generalidades_____	31
3.2	Materia prima_____	34
3.3	Equipo de dosificación_____	35
3.3.1	Planta central_____	35
3.3.2	Plantas portátiles_____	38
3.4	Equipo de mezclado y transporte_____	39
3.5	Control de calidad_____	40
3.6	Concretos premezclados producidos_____	41

3.7	Volumen de concreto premezclado	42
4.	CONCRETO PREMEZCLADO SEGÚN LA NORMA ASTM C-94	
4.1	Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de prueba para concreto (ASTM C-31)	45
4.2	Método de ensayo para resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-39)	46
4.3	Método estándar de ensayo para peso unitario y rendimiento del concreto (ASTM C-138)	46
4.4	Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico (ASTM C-143)	46
4.5	Práctica estándar para el muestreo de concreto fresco (ASTM C-172)	47
4.6	Método estándar de ensayo para determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método de presión (ASTM C-231)	47
4.7	Método de ensayo estándar para la temperatura de mezclas de concreto fresco de cemento portland (ASTM C-1064)	48
5.	EVALUACIÓN VOLUMEN CONCRETO PREMEZCLADO	
5.1	Equipo de ensayo	49
5.1.1	Peso Unitario (ASTM-138)	50
5.1.1.1	Balanza	50
5.1.1.2	Varilla de apisonado	50
5.1.1.3	Recipiente de medición	51
5.1.1.4	Mazo	51
5.1.1.5	Lámina enrasadora	52
5.1.1.6	Vibrador interno	52
5.2	Muestreo de concreto premezclado (ASTM C-172)	52

5.3	Ensayo de peso unitario (ASTM C-138)	53
5.4	Cálculo del rendimiento	55
5.5	Factores de variación en el rendimiento	57

6. EVALUACIÓN CALIDAD CONCRETO PREMEZCLADO

6.1	Equipo de ensayo	59
6.1.1	Asentamiento (ASTM C-143)	60
6.1.1.1	Molde	60
6.1.1.2	Varilla de apisonado	60
6.1.2	Contenido de aire por el método de presión (ASTM C-231)	61
6.1.2.1	Recipiente de medición	61
6.1.2.2	Cubierta de ensamble	61
6.1.2.3	Varilla de apisonado	61
6.1.2.4	Mazo	61
6.1.2.5	Lámina enrasadora	61
6.1.3	Temperatura (ASTM C-1064)	62
6.1.3.1	Termómetro	62
6.1.3.2	Recipiente de medición	62
6.1.4	Elaboración de cilindros de concreto (ASTM C-31)	62
6.1.4.1	Moldes cilíndricos	62
6.1.4.2	Varilla de apisonado	63
6.1.4.3	Mazo	63
6.2	Muestreo de concreto premezclado (ASTM C-172)	63
6.3	Ensayo de asentamiento (ASTM C-143)	65
6.4	Ensayo de contenido de aire por el método de presión (ASTM C-231)	66
6.5	Ensayo de temperatura (ASTM C-1064)	67

6.6	Método de elaboración de cilindros de concreto en campo (ASTM C-31)	68
6.7	Factores de variación en la resistencia del concreto	69

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

7.1	Muestra de concreto premezclado	73
7.1.1	Muestreos	73
7.1.2	Tipo de concreto muestreado	73
7.2	Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado	74
7.2.1	Procedimiento	74
7.2.2	Resultados	75
7.2.2.1	Proyecto mercado de Amatitlán	75
7.2.2.2	Proyecto vivienda Planes de Bárcenas	77
7.2.2.3	Proyecto bodegas Villa Nueva	79
7.2.2.4	Proyecto vivienda Atlantis (1)	81
7.2.2.5	Proyecto bodegas Mega Planta	83
7.2.2.6	Proyecto vivienda San Cristóbal	85
7.2.2.7	Proyecto vivienda Atlantis (2)	87
7.2.2.8	Proyecto vivienda Atlantis (3)	89
7.2.2.9	Proyecto bodegas Atanasio Tzul	91
7.2.3	Gráficas resultados todos los muestreos	93
7.2.4	Análisis estadístico	95
7.2.4.1	Promedio general	95
7.2.4.2	Desviación estándar	95
7.2.4.3	Coficiente de variación	96

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1	Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado	97
8.1.1	Proyecto mercado Amatitlán	97

8.1.2	Proyecto vivienda Planes de Bércenas_____	98
8.1.3	Proyecto bodegas Villa Nueva_____	98
8.1.4	Proyecto vivienda Atlantis (1)_____	99
8.1.5	Proyecto bodegas Mega Planta_____	100
8.1.6	Proyecto vivienda San Cristóbal_____	100
8.1.7	Proyecto vivienda Atlantis (2)_____	101
8.1.8	Proyecto vivienda Atlantis (3)_____	102
8.1.9	Proyecto bodegas Atanasio Tzul_____	103
8.2	Análisis de resultados estadísticos_____	103
8.2.1	Promedio general_____	103
8.2.2	Desviación estándar_____	104
8.2.3	Coefficiente de variación_____	104
CONCLUSIONES_____		107
RECOMENDACIONES_____		109
BIBLIOGRAFÍA_____		111
ANEXOS_____		115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sección transversal de concreto endurecido	02
2	Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto	13
3	Tipos de paletas de mezclado	29
4	Planta Duracreto	32
5	Área de oficinas	33
6	Área de taller	33
7	Laboratorio control de calidad	34
8	Almacenamiento de agregados	35
9	Planta de dosificación	36
10	Silo para almacenamiento del cemento	37
11	Tolvas para agregados	37
12	Tablero de control planta de dosificación	38
13	Camión mezclador Duracreto	40
14	Equipo de ensayo evaluación volumen	50
15	Muestras para ensayo de peso unitario	55
16	Equipo de ensayo evaluación calidad	60
17	Moldes cilíndricos normalizados	63
18	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto mercado Amatitlán	75

19	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto mercado Amatitlán_____	76
20	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Planes de Bárcenas_____	77
21	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Planes de Bárcenas_____	78
22	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto bodegas Villa Nueva_____	79
23	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto bodegas Villa Nueva_____	80
24	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (1)_____	81
25	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (1)_____	82
26	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto bodegas Mega Planta_____	83
27	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto bodegas Mega Planta_____	84
28	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda San Cristóbal_____	85
29	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda San Cristóbal_____	86
30	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (2)_____	87
31	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (2)_____	88
32	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (3)_____	89

33	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (3)	90
34	Gráfica resultados evaluación volumen proyecto bodegas Atanasio Tzul	91
35	Gráfica resultados evaluación calidad proyecto bodegas Atanasio Tzul	92
36	Gráfica rendimiento relativo todos los muestreos	93
37	Gráfica contenido de aire todos los muestreos	93
38	Gráfica temperatura del concreto todos los muestreos	94
39	Gráfica resistencia a compresión todos los muestreos	94

TABLAS

I	Criterios de aceptación para suministros de aguas dudosas	07
II	Límites químicos en aguas de lavado para concreto	08
III	Propiedades y ensayos de agregados	11
IV	Ensayos para concreto fresco	15
V	Ensayos destructivos para concreto endurecido	16
VI	Ensayos no destructivos para concreto endurecido	16
VII	Concretos especiales	17
VIII	Control de calidad Duracreto	43
IX	Características concreto convencional Duracreto	44
X	Características concreto estructural Duracreto	44
XI	Capacidad de los recipientes	53
XII	Variables que influyen en la resistencia del concreto	72

XIII	Resultados evaluación volumen proyecto mercado Amatitlán_____	77
XIV	Resultados evaluación calidad proyecto mercado Amatitlán_____	78
XV	Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Planes de Bárceñas_____	79
XVI	Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Planes de Bárceñas_____	80
XVII	Resultados evaluación volumen proyecto bodegas Villa Nueva_____	81
XVIII	Resultados evaluación calidad proyecto bodegas Villa Nueva_____	82
XIX	Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (1)_____	83
XX	Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (1)_____	84
XXI	Resultados evaluación volumen proyecto bodegas Mega Planta_____	85
XXII	Resultados evaluación calidad proyecto bodegas Mega Planta_____	86
XXIII	Resultados evaluación volumen proyecto vivienda San Cristóbal_____	87
XXIV	Resultados evaluación calidad proyecto vivienda San Cristóbal_____	88
XXV	Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (2)_____	89
XXVI	Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (2)_____	90

XXVII Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (3)	91
XXVIII Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (3)	92
XXIX Resultados evaluación volumen proyecto bodegas Atanasio Tzul	93
XXX Resultados evaluación calidad proyecto bodegas Atanasio Tzul	94
XXXI Normas para el control del concreto (desviación estándar)	104
XXXII Normas para el control del concreto (coeficiente de variación)	105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	porcentaje
“	pulgada
°C	grado celsius
cm	centímetro
f'c	resistencia a la compresión del concreto
kg	kilogramo
kg/cm ²	kilogramo sobre centímetro cuadrado
kg/m ³	kilogramo sobre metro cúbico
lb	libra
lb/ft ³	libra sobre pie cúbico
mm	milímetro
m ³	metro cúbico
ppm	partes por millón
psi	libra sobre pulgada cuadrada
rpm	revoluciones por minuto

GLOSARIO

ACI	Siglas en inglés del Instituto Americano de Concreto (<i>American Concrete Institute</i>).
Aire atrapado	Vacíos de aire en el concreto, que no son introducidos a propósito. Frecuentemente son el resultado de una vibración o una compactación incompleta.
Aire incluido	Burbujas microscópicas de aire intencionalmente incluidas en el concreto (usando un aditivo), durante el mezclado para mejorar la durabilidad frente a congelamiento y deshielo, y para mejorar trabajabilidad del concreto.
Asentamiento	Medida de la consistencia del concreto fresco, también llamado revenimiento.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).
Bachada	Cantidad de concreto que se prepara en un solo ciclo de mezcla o carga de concreto.
Carga	Contenido total de concreto en un camión mezclador.

Cilindro de concreto	Espécimen para el ensayo de resistencia a compresión. Se elabora vaciando concreto en un molde plástico, de metal o cartón, el cual usualmente tiene una altura equivalente al doble del diámetro.
Colocado	Acción de vaciar el concreto fresco en la formaleta o molde. También se le llama colado.
Consolidación	Es el proceso que consiste en compactar al concreto fresco para amoldarlo dentro de las formaletas, evitando los apanalamientos y las cavidades del aire atrapado.
Contenido de aire	Es el volumen de vacíos de aire en el concreto, expresado como porcentaje del volumen total del concreto.
Curado	Es el mantenimiento de condiciones favorables de humedad y de temperatura del concreto a tempranas edades, para que desarrolle resistencia y otras propiedades.
Fraguado final	Es un grado de endurecimiento del concreto después del fraguado inicial, que permite recibir cierto nivel de carga.
Fraguado inicial	Grado de endurecimiento del concreto, menor que el fraguado final, que permite recibir cierto nivel de carga.

Fraguado rápido	Endurecimiento rápido y prematuro del concreto. Por lo general se requiere re-mezclar el concreto con agua adicional para hacerlo nuevamente manejable.
Formaleta	Molde temporal para el concreto fresco, que se retira una vez que el concreto logra la resistencia suficiente para sostenerse a si mismo. También puede ser llamado también cimbra.
Hidratación	Reacción química entre el cemento hidráulico y el agua.
Mortero	Mezcla que consiste de cemento, agua y agregado fino.
NRMCA	Siglas en inglés de la Asociación Nacional de Concreto Premezclado (<i>National Ready Mixed Concrete Association</i>).
Pasta	Es la porción del concreto que consiste de cemento y agua.
Peso unitario	Peso de concreto por unidad de volumen. Usualmente se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m ³) en el Sistema Internacional.
Relación agua-cemento	Cociente obtenido al dividir el peso del agua por el peso del cemento en el concreto.

Rendimiento	Volumen del concreto fresco producido por una batchada o mezcla integrada por cantidades conocidas de materiales
Rendimiento relativo	Es la razón del volumen obtenido del concreto, al volumen diseñado para la carga
Resistencia a la compresión	Es la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto cargado a la compresión y expresada en kg/cm ² en el Sistema Internacional.
Resistencia temprana	Es la resistencia del concreto que se mide en los primeros tres días o antes, después de la colocación.
Retardante	Aditivo que demora el tiempo de fraguado del concreto. También es llamado retardador o retardante de fraguado.
Segregación	Separación del agregado grueso de la porción de mortero de un concreto.
Superplastificante	Aditivo reductor de agua de alto rango, también llamado fluidificante.
Tambor	Es la mezcladora montada sobre el camión mezclador en donde se realiza el proceso de mezclado.

Trabajabilidad	También llamada manejabilidad es la facilidad de colocación, compactación y acabado del concreto fresco.
Velocidad del tambor	Es la velocidad de rotación (rpm) del tambor de un camión mezclador cuando se usa para cargar, mezclar, agitar o descargar concreto. Las velocidades recomendadas deben ser mostradas por el fabricante.
Vibrado	Acción de vibrar el concreto fresco con el objeto de expulsar el aire atrapado durante el mezclado.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se evaluó el volumen y calidad del concreto premezclado entregado en obra, de acuerdo con los procedimientos y especificaciones de la norma ASTM C-94 (Especificación estándar para concreto premezclado). Dicha evaluación se realizó con el apoyo de Duracreto, empresa dedicada a la producción de concreto premezclado.

La aplicación de dicha norma es un mecanismo de garantía al producto en cuanto a volumen y calidad requerida se refiere, tanto para el productor como para el usuario.

Se realizaron treinta muestreos aleatorios en proyectos dentro del departamento de Guatemala. La muestra fue un concreto convencional con $f'c$ de 210 kg/cm² (3000 psi), entregado en obra por los camiones mezcladores.

A las mezclas de concreto, se les evaluaron las características de peso unitario, asentamiento, contenido de aire, temperatura y resistencia a la compresión, para determinar el volumen real entregado y la calidad del concreto premezclado.

La mayoría de los resultados obtenidos muestran que el concreto es fabricado de acuerdo con lo requerido por el cliente en volumen y calidad. Asimismo el análisis de los resultados estadísticos indica que se fabrica un concreto homogéneo con poca variabilidad en su resistencia.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar el volumen y la calidad del concreto premezclado entregado en obra por camiones mezcladores en el departamento de Guatemala.

- **Específicos**

1. Evaluar el concreto premezclado de acuerdo con los procedimientos y especificaciones de la norma ASTM C-94.
2. Tomar muestras aleatorias para la evaluación del volumen y la calidad del concreto premezclado dentro del departamento de Guatemala.
3. Dar a conocer los procesos de producción y transporte del concreto premezclado.
4. Dar a conocer la metodología descrita en la norma ASTM C-94, para la evaluación del concreto premezclado.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se ha incrementado la producción de concreto premezclado, debido a la gran demanda del producto. El concreto premezclado es aquel entregado al cliente en estado fresco; los materiales son dosificados de acuerdo con las propiedades requeridas para determinada aplicación y mezcladas ya sea en planta o en camiones mezcladores. Se transporta en un camión mezclador o en una unidad agitadora, que mantiene el concreto de forma homogénea hasta que es entregado en el proyecto. Es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, por tal motivo se crea la necesidad de evaluar su volumen y calidad, de acuerdo a la norma ASTM C-94.

El capítulo uno comprende los fundamentos sobre el concreto como su definición, materiales y control de calidad, asimismo se mencionan algunos concretos especiales.

En el capítulo dos se presenta todo lo relacionado con concreto premezclado, incluyendo su definición, proceso de producción y transporte a la obra.

El capítulo tres contiene información general de la empresa Duracreto, la descripción de la planta, materia prima, equipo de dosificación, equipo de mezclado y transporte, control de calidad y volumen de producción.

En el capítulo cuatro se muestran las normas aplicadas para la evaluación, de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM C-94.

Los capítulos cinco y seis comprenden los procedimientos especificados para la evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado respectivamente, incluyendo equipo, muestreos, ensayos y cálculos. También presentan los factores que pueden afectar el volumen y calidad del concreto premezclado.

El capítulo siete presenta el desarrollo experimental, siendo sus principales aspectos el tipo de concreto premezclado muestreado, procedimiento para la evaluación, presentación de resultados mediante tablas, gráficas y el análisis estadístico de los resultados de resistencia a compresión.

En el capítulo ocho se incluye el análisis de resultados de la evaluación y de los estadísticos.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones producto de la evaluación del volumen y calidad del concreto.

1. FUNDAMENTOS SOBRE EL CONCRETO

1.1 Definición

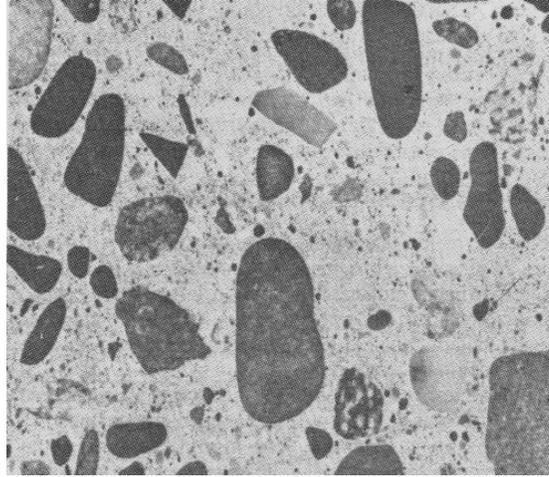
El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Pórtland y agua, une los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.¹

Después del proporcionamiento, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco mantenimiento. También puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregados (ver Figura 1).

¹ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Diseño y control de mezclas de concreto.** (1ª edición; México: 1992) p. 1

Figura 1. Sección transversal de concreto endurecido



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
Diseño y control de mezclas de concreto. Pág. 1

1.2 Materiales

1.2.1 Cemento

Es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las que permiten unir fragmentos minerales, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuada.

1.2.1.1 Cemento Pórtland

Es un cemento hidráulico compuesto principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, fragua y endurece al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca.

El clinker es la materia prima para producir el cemento y con él se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. El tipo de materias primas y sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento deseado.

La *American Society Testing and Materials*, ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales), en su norma ASTM C-150 (Especificación estándar para cemento Pórtland) define ocho tipos de cemento Pórtland, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción:

- Tipo I Normal
- Tipo IA Normal, inclusor de aire
- Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos
- Tipo IIA De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire
- Tipo III De alta resistencia a edad temprana
- Tipo IIIA De alta resistencia a edad temprana, inclusor de aire
- Tipo IV De bajo calor de hidratación
- Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos

1.2.1.1.1 Cemento Pórtland blanco

El cemento Pórtland blanco difiere del cemento Pórtland gris únicamente en el color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C-150, normalmente con respecto al tipo I ó tipo III; sin embargo el proceso de manufactura es controlado de tal manera que el producto terminado sea blanco. Es fabricado con materias primas que contienen cantidades insignificantes de óxido de hierro y de manganeso, que son las sustancias que dan el color al cemento gris. Se utiliza para fines estructurales y arquitectónicos, como muros precolados, acabados, pintura de cemento, paneles para fachadas, pegamento para azulejos y como concreto decorativo.

1.2.1.2 Cementos mezclados

1.2.1.2.1 Cementos de albañilería

Son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros, para construcciones de albañilería, más nunca se deben emplear para elaborar concreto. Están compuestos por alguno de los siguientes elementos: cemento Pórtland, cemento Pórtland puzolana, cemento Pórtland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica y cemento natural. Además, normalmente contienen materiales como cal hidratada, caliza, creta, talco o arcilla. La norma ASTM C-91 (Especificación estándar para cementos de albañilería) considera tres tipos:

- Tipo N
- Tipo S
- Tipo M

1.2.1.2.2 Cementos mezclados

Han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción. La norma ASTM C-595 (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados) reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- Cemento Pórtland de escoria de alto horno - Tipo IS
- Cemento Pórtland puzolana - Tipo IP y Tipo P
- Cemento de escoria - Tipo S
- Cemento Pórtland modificado con puzolana - Tipo I (PM)
- Cemento Pórtland modificado con escoria - Tipo I (SM)

1.2.1.3 Cementos expansivos

Son cementos hidráulicos que se expanden ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Deben satisfacer los requisitos de la norma ASTM C-845 (Especificación estándar para cementos hidráulicos expansivos), en la cual se les designa como cemento tipo E-1. Comúnmente se reconocen tres tipos:

- E-1(K)
- E-1(M)
- E-1(S)

1.2.1.4 Cementos especiales

- **Cementos para pozos petroleros**

Estos cementos empleados para sellar pozos petroleros, normalmente están hechos de clinker de cemento Pórtland. Generalmente deben tener un fraguado lento y ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. El Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute*) establece especificaciones (API 10-A) para nueve tipos de cemento (clases A hasta la H y J). Cada uno resulta aplicable en un rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados.

- **Cementos plásticos**

Se fabrican añadiendo agentes plastificantes en una cantidad no mayor del 12% del volumen total, al cemento Pórtland Tipo I o II durante la operación de molienda. Estos cementos comúnmente son empleados para hacer morteros y acabados, la norma que los rige es la ASTM C-1328 (Especificación estándar para cementos plásticos).

- **Cemento Pórtland impermeabilizado**

Usualmente se fabrica añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua como el estearato de sodio, de aluminio u otros, al clinker de cemento durante la molienda final.

1.2.2 Agua de mezclado para concreto

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas.

Si se tienen dudas del agua, ésta se puede utilizar si los cubos de mortero elaborados con dicha agua de acuerdo a la norma ASTM C-109 (Método de prueba para la resistencia a la compresión de morteros con cemento hidráulico), alcanzan resistencia a los siete días de por lo menos el 90% de especímenes testigos fabricados con agua potable o destilada. Además se deberá realizar el ensayo descrito en la norma ASTM C-191 (Método de prueba para tiempo de fraguado de cemento hidráulico por el método de la aguja de vicat) para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo del fraguado del cemento. La norma ASTM C-94 (Especificación estándar para concreto premezclado) propone criterios de aceptación para el agua que será empleada en el concreto (ver Tablas I y II).

Tabla I. Criterios de aceptación para suministros de aguas dudosas

	Límites	Método de ensayo
Resistencia a la compresión a 7 días, porcentaje mínimo respecto al testigo	90	ASTM C-109
Tiempo de fraguado, desviación con respecto al testigo, hr:min	De 1:00 antes a 1:30 después	ASTM C-191

Fuente: *American Standard Testing and Materials. ASTM C-94 Especificación estándar para concreto premezclado. Pág. 4*

Tabla II. Límites químicos en aguas de lavado para concreto

Producto químico	concentración máxima, ppm	Método de ensayo
Cloruro, como Cl		
concreto presforzado o concreto para cubierta de puentes	500	ASTM D-512
otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan insertos de aluminio o metales diferentes, o cimbras permanentes de metal galvanizado	1,000	ASTM D-512
Sulfato, como SO ₄	3,000	ASTM D-516
Álcalis, como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600	ASTM D-516
Sólidos totales	50,000	AASHTO T 26

Fuente: *American Standard Testing and Materials. ASTM C-94 Especificación estándar para concreto premezclado. Pág. 4*

El agua que contiene menos de 2,000 ppm de sólidos totales disueltos, generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos totales disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

Para cualquier conjunto específico de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Incrementa la resistencia a la compresión y flexión
- Tiene menor permeabilidad, por ende mayor hermeticidad y menor absorción
- Incrementa la resistencia al intemperismo
- Logra una mejor adherencia entre el concreto y refuerzo
- Presenta menor cambio volumétrico causado por humedecimiento y secado
- Reduce las tendencias de agrietamientos por contracción

1.2.3 Agregados para concreto

Se encuentran en estado natural, son una mezcla de rocas y minerales. Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios materiales. Asimismo el proceso de meteorización de las rocas produce partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

Estos deben cumplir ciertas especificaciones para darles un uso ingenieril óptimo, y consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y adherencia con la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado, endurecido, en las proporciones de la mezcla y en los costos. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. El contenido de agregado fino, varía normalmente de 35% a 45% en peso o volumen sobre el contenido total de agregados. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado, cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Los agregados de peso normal deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C-33 (Especificación para agregados de concreto). Esta limita las cantidades permisibles de sustancias deletéreas y los requisitos para las características de los agregados. No obstante, el hecho que satisfagan los requisitos de dicha norma, no garantiza necesariamente un concreto libre de defectos. Existen características de importancia en los agregados que se deben considerar para elaborar concreto (ver Tabla III).

Tabla III. Propiedades y ensayos de agregados

Propiedad	Importancia	Norma
Resistencia al desgaste y a la degradación	Índice de calidad del agregado; resistencia al desgaste de pisos y pavimentos	ASTM C-131 ASTM C-535 ASTM C-779
Resistencia a la congelación y deshielo	Descascaramiento, aspereza, pérdida de sección y deformación	ASTM C-666 ASTM C-682
Resistencia a la desintegración por sulfatos	Sanidad contra la acción del intemperismo	ASTM C-88
Forma de la partícula y textura superficial	Trabajabilidad del concreto en estado fresco	ASTM C-295 ASTM C-3398
Granulometría	Trabajabilidad del concreto en estado fresco; economía	ASTM C-117 ASTM C-136
Peso volumétrico o densidad en masa	Cálculos para el diseño de mezclas; clasificación	ASTM C-29
Peso específico	Cálculos para el diseño de mezclas	ASTM C-127 ASTM C-128
Absorción y humedad superficial	Control de calidad del concreto	ASTM C-70 ASTM C-127 ASTM C-128 ASTM C 566
Resistencia a la compresión y a la flexión	Aceptación del agregado fino cuando otras pruebas fallan	ASTM C-39 ASTM C-78
Definiciones de los componentes	Aclarar el entendimiento y la comunicación	ASTM C-125 ASTM C-294
Componentes de los agregados	Determinar la cantidad de materiales orgánicos y deletéreos	ASTM C-40 ASTM C-87 ASTM C-117 ASTM C-123 ASTM C-142 ASTM C-295
Resistencia a la reactividad con los álcalis y al cambio volumétrico	Sanidad contra el cambio de volumen	ASTM C-227 ASTM C-289 ASTM C-295 ASTM C-342 ASTM C-586

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
Diseño y control de mezclas de concreto. Pág. 33

1.2.4 Aditivos para concreto

Los aditivos son sustancias químicas naturales o manufacturadas que además del cemento Pórtland, agua y los agregados, se adicionan al concreto inmediatamente antes o durante el mezclado para modificar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

Se les puede clasificar como:

- Aditivos inclusores de aire
- Aditivos reductores de agua
- Aditivos retardantes
- Aditivos acelerantes
- Superplastificantes
- Aditivos minerales finamente divididos
- Aditivos diversos para mejorar la trabajabilidad, adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechado, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión y ayuda para bombeo.

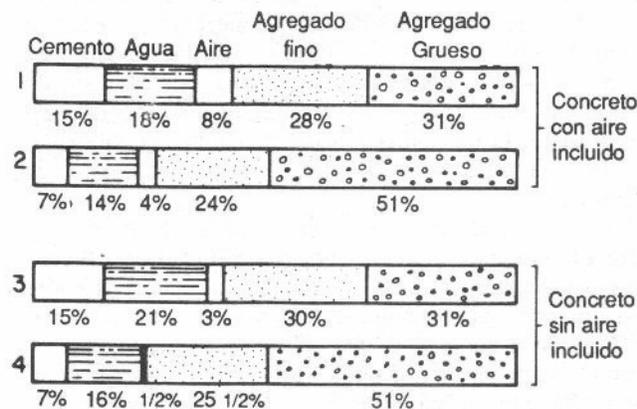
Las principales razones del empleo de aditivos son:

- Reducir el costo de la construcción de concreto
- Obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios
- Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones ambientales adversas
- Superar ciertas eventualidades durante las operaciones del colocado

Con los aditivos que hayan sido considerados para emplearse en el concreto, se deberán realizar mezclas de prueba con la temperatura y humedad que se vayan a tener en la obra. Se deberá usar la cantidad recomendada por el fabricante o la cantidad óptima de aditivo determinada por medio de ensayos de laboratorio.

Las proporciones en volumen de los materiales usados para elaborar concreto pueden variar según la necesidad requerida (ver Figura 2).

Figura 2. Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
Diseño y control de mezclas de concreto. Pág. 1

1.3 Control de calidad del concreto

Se puede definir como la revisión de la aptitud del concreto para satisfacer una necesidad definida al menor costo, basada en especificaciones estandarizadas. Esto se logra, cuando al producirlo y colocarlo, el concreto reproduzca el diseño que ha sido optimizado y se sigan las recomendaciones de un adecuado manejo.

El control de calidad y los ensayos son indispensables en el proceso constructivo porque confirman que se están obteniendo las propiedades requeridas. La experiencia y el buen juicio deberán apoyarse en la evaluación de los ensayos y la estimación de su importancia con respecto al comportamiento último del concreto.

Las especificaciones que generalmente se aplican para el control de calidad del concreto, las define la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), las cuales han sido una herramienta confiable para este objetivo.

A nivel nacional la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), regula las normas para el control calidad del concreto.

1.3.1 Estado fresco

Se presenta cuando el concreto está recién mezclado, es plástico o semifluido y capaz de ser moldeado, asimismo los agregados están encajonados y sostenidos en suspensión. Existen varios ensayos que se pueden aplicar al concreto en estado fresco (ver Tabla IV).

Tabla IV. Ensayos para concreto fresco

Ensayo	Importancia	Norma
Elaboración y curado de especímenes	Elaboración y curado de especímenes premoldeados de concreto para las pruebas de resistencia a compresión	ASTM C-31
Peso unitario y rendimiento	Determinar la densidad y cantidad de concreto producido por mezcla	ASTM C-138
Asentamiento	Medir el asentamiento o consistencia del concreto	ASTM C-143
Muestreo de concreto fresco	Obtener muestras de concreto fresco verdaderamente representativas para las pruebas de control	ASTM C-172
Contenido de aire	Determinar el porcentaje de aire con relación al volumen de la mezcla	ASTM C-231
Pruebas de curado acelerado	Apresurar el control de calidad del concreto	ASTM C-684
Temperatura	Medir la temperatura del concreto	ASTM C-1064

1.3.2 Estado endurecido

Se presenta cuando el concreto pierde el agua evaporable de la mezcla durante del proceso de fraguado y posteriormente durante el proceso de adquisición de resistencia. Existen varios ensayos que se pueden aplicar al concreto en estado endurecido los cuales pueden ser destructivos y no destructivos (ver Tablas V y VI).

Tabla V. Ensayos destructivos para concreto endurecido

Ensayo	Importancia	Norma
Resistencia a compresión	Determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto	ASTM C-39
Resistencia a flexión	Determinar la resistencia a la flexión usando carga en los tercios	ASTM C-78
Resistencia a flexión	Determinar la resistencia a la flexión usando carga en el punto central	ASTM C-293
Contenido de aire	Determinar el contenido de aire y los parámetros del sistema vacíos-aire del concreto endurecido	ASTM C-457
Resistencia a tensión	Determinar la resistencia a la tensión	ASTM C-496
Densidad relativa, peso específico, absorción y vacíos	Determinar la densidad relativa, el peso específico, el porcentaje de absorción y el contenido vacíos en el concreto endurecido	ASTM C-642

Tabla VI. Ensayos no destructivos para concreto endurecido

Ensayo	Importancia	Norma
Pruebas dinámicas o de vibración	Determinar la frecuencia resonante de un espécimen y registrar el tiempo de recorrido de pulsos cortos de vibración	ASTM C-597
Método de penetración	Medir la dureza para determinar la resistencia relativa del concreto	ASTM C-803
Método del esclerómetro	Medir la dureza de la superficie para revisar la uniformidad del concreto	ASTM C-805
Pruebas de arranque	Medir la resistencia directa al cortante en el concreto	ASTM C-900
Radiación gamma	Determinar la densidad del concreto sin endurecer y endurecido	ASTM C-1040

1.4 Concretos especiales

Son aquellos que tienen propiedades distintas a las ordinarias o los producen mediante técnicas poco usuales. Algunos concretos especiales están hechos con cemento Pórtland y con otros aglutinantes distintos (ver Tabla VII).

Tabla VII. Concretos especiales

Concretos especiales fabricados con cemento Pórtland		
Concreto con aire incluido	Concreto de gran peso	concreto compactado con rodillos
Concreto arquitectónico	Concreto con alta resistencia a edad temprana	concreto con agregado de aserrín
Concreto celular	Concreto de alta resistencia	concreto para blindaje
Concreto colado centrífugamente	Concreto aislante	concreto lanzado
Concreto coloidal	Concreto modificado con látex	concreto compensador de contracción
Concreto coloreado	Concreto de baja densidad	concreto con humo de sílice
Relleno de densidad controlada	concreto masivo	suelo-cemento
Concreto ciclópeo	Concreto ligero de resistencia moderada	concreto estampado
Concreto consolidado con apisonado enérgico	Concreto para clavar	concreto ligero estructural
Concreto modificado por epóxicos	Concreto de revenimiento nulo	concreto superplastificado
Concreto con agregado expuesto	concreto modificado con polímeros	terrazo
Ferrocemento	concreto poroso	concreto para tubo-embudo
Concreto reforzado con fibras	concreto puzolánico	concreto tratado al vacío
Concreto para rellenos	concreto prefabricado	concreto con vermiculita
Concreto fluido	concreto pre-empacado	concreto blanco
Concreto con ceniza volante	concreto con agregado pre-colocado	concreto de revenimiento cero
Concreto con granulometría discontinua	concreto presforzado	
Concretos especiales que no utilizan cemento Pórtland		
concreto acrílico	concreto furano	concreto de poliéster
concreto de fosfato de aluminio	concreto de yeso	concreto de polímeros
concreto asfáltico	concreto de látex	concreto de silicato de potasio
concreto de aluminato de calcio	concreto de fosfato de magnesio	concreto de silicato de sodio
concreto epóxico	concreto de metacrilato de metilo (MMA)	concreto de azufre

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Diseño de Mezclas de Concreto. Pág. 195

2. CONCRETO PREMEZCLADO

2.1 Definición

El concreto premezclado es aquel que es entregado al cliente cómo una mezcla en estado no endurecido (mezcla en estado fresco). El concreto premezclado es uno de los materiales de construcción más populares y versátiles, debido a la posibilidad de que sus propiedades sean adecuadas a las necesidades de las diferentes aplicaciones, así como su resistencia y durabilidad para soportar una amplia variedad de condiciones ambientales.¹

2.2 Proceso de producción concreto premezclado

El proceso de producción del concreto premezclado comprende tres operaciones:

- Control, manejo y almacenamiento de materiales
- Dosificación
- Mezclado

Dicho proceso se realiza en las plantas de producción, las cuales son instalaciones en donde se centralizan las operaciones y suministros. A continuación se mencionan algunos aspectos relativos a cada una de las operaciones.

¹ *National Ready Mixed Concrete Association. Concreto en la práctica no 31.* (USA: 1998) p. 1

2.2.1 Control, manejo y almacenamiento de materiales

Los componentes del concreto deben tener un adecuado manejo para garantizar un buen desempeño, ya que los abusos en su manipulación y almacenamiento afectan las propiedades de estos.

2.2.1.1 Cemento

De preferencia, el cemento que se emplea para la producción de concreto premezclado debe ser a granel. Normalmente es transportado en pipas o camiones-silo cuya capacidad es 30 a 45 toneladas y descargado por compresores de aire en silos, protegidos contra la intemperie y adecuadamente ventilados para impedir la absorción de humedad.

Cuando se tenga que emplear cemento en sacos, deben protegerse de las condiciones atmosféricas preferiblemente en un almacén cubierto y sobre plataformas, de modo que se permita la circulación del aire. Los sacos de cemento deben consumirse al mismo ritmo que los suministros para evitar prolongados tiempos de almacenamiento.

2.2.1.2 Agua de mezclado

Normalmente el agua de mezclado en zonas urbanas se toma del abastecimiento local. La demanda del agua depende del tipo de planta, capacidad de producción, sistema de mezclado y las condiciones ambientales, pero para efectos de calcularla, en general se puede asumir que por cada metro cúbico de concreto es necesario otro metro cúbico de agua; esto debido a que no sólo es necesaria como ingrediente de la mezcla, sino también para lavar los tambores de los camiones mezcladores, después de cada descarga.

Así pues, debe disponerse de un tanque adecuado a las necesidades de producción, que permita un almacenamiento libre de contaminación, accesible para la toma de muestras, limpieza y lavado.

2.2.1.3 Agregados

El almacenamiento de agregados debe hacerse en patios suficientemente amplios para permitir la circulación y operación de equipos destinados a su transporte y manejo. En la organización de los patios de almacenamiento de agregados se deben considerar los siguientes aspectos:

- El patio se debe diseñar de manera que la circulación de vehículos no contamine los agregados y que los accesos estén libres y limpios.
- Para evitar contaminación del material con el piso o fondo, es conveniente que sea una superficie dura.
- Se debe disponer de un sistema de drenaje con el fin de evacuar el agua libre del material, evitando humedad diferencial entre los agregados.
- Se deben proveer muros divisorios para evitar contaminación entre los materiales con diferente granulometría.
- Los muros divisorios deben alinear zonas definidas y de volumen apropiado para que cada material se descargue, ordene, almacene y utilice de acuerdo con el sistema de manejo de inventarios FIFO (en inglés, lo primero que entra es lo primero que sale).
- Las pilas de almacenamiento se deben construir en capas horizontales o de pendiente suave, de tal manera que se eviten las pilas en forma cónica y la descarga del material en los lados inclinados de la pilas.

- No permitir el tránsito de camiones, cargadores o cualquier otro vehículo sobre los montones del material, para evitar que se quiebre y contamine.
- Si el manejo de los agregados en el patio es por medio de cucharones, bandas transportadoras u otros, éstos no deben oscilar sobre los montones de agregados de diferente tamaño, para evitar la contaminación con partículas de otros tamaños.
- Evitar la acción del viento sobre la arena seca, debido a que esto causa pérdida de finos, segregación del material y contaminación con polvo.

2.2.1.4 Aditivos

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tanques herméticos protegidos de los rigores del clima. Cuando son aditivos en polvo disueltos en agua u otro líquido, los tanques de almacenamiento deben estar provistos de agitación para mantener los sólidos en suspensión.

En el caso de aditivos minerales finamente divididos como las puzolanas, las recomendaciones del manejo y almacenamiento son las mismas de los materiales cementantes.

2.2.2 Dosificación de materiales

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto.²

² Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Diseño y control de mezclas de concreto.** (1ª edición; México: 1992) p. 103

Para producir concretos de calidad uniforme, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla. La mayoría de especificaciones requieren que la dosificación se efectúe por masa en vez de hacerlo por volumen, pues la medida con base en su volumen puede conducir a errores al no tenerse en cuenta el grado de compactación o expansión de las partículas, el grado de saturación o humedad de los agregados, ni el volumen absoluto de cada ingrediente en el momento de la dosificación. Sólo el agua y los aditivos líquidos pueden ser medidos correctamente con base en el volumen. Las dosificaciones volumétricas se usan para concretos mezclados en una mezcladora continua y para ciertas obras en lugares donde no se cuente con instalaciones para pesaje.

Algunas especificaciones generalmente exigen que los materiales se midan individualmente con los siguientes porcentajes de precisión: cemento 1%, agregados 2%, agua 1%, aditivos 3%.

2.2.2.1 Planta de dosificación

La planta de dosificación está compuesta de receptáculos de almacenamiento con adecuados compartimientos, separados para que puedan mantener agregado fino y los diferentes tamaños de agregado grueso.

Cada compartimiento se diseña y opera de modo que pueda descargarse material eficientemente y con segregación mínima en el alimentador y pesador. Debe haber un mecanismo de control que interrumpa el flujo de material con precisión. Los alimentadores pesadores se construyen de modo que no se acumule material y que descarguen totalmente su contenido. Los indicadores deben ser totalmente visibles y estar suficientemente cerca del operador de

planta para que pueda leerlos con precisión. El operador debe tener acceso adecuado a todos los controles.

Periódicamente se deberá revisar y calibrar el equipo de dosificación, según lo programado.

2.2.3 Mezclado del concreto

Consiste en cubrir la superficie de todas las partículas de los agregados con pasta de cemento y obtener una masa uniforme. Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente.

En general, el cemento debe ser cargado junto con los agregados, pero luego de que haya entrado el 10% del agregado al tambor. El agua debe ser el primer elemento introducido en el tambor y debe continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando. Los aditivos deben cargarse en el tambor en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. Los aditivos líquidos deben cargarse con el agua y los aditivos en forma de polvo deben ser vertidos dentro de la mezcladora con otros ingredientes secos.

El concreto premezclado se puede elaborar por cualquiera de los métodos siguientes:

- Concreto mezclado en planta
- Concreto mezclado en camión
- Concreto mezclado en dos fases

2.2.3.1 Concreto mezclado en planta

También llamado concreto de mezclado central, se mezcla completamente en una mezcladora estacionaria ubicada en la planta de producción y se entrega ya sea con un camión agitador, con un camión mezclador operando a velocidad de agitación o con un camión especial no agitador.

2.2.3.1.1 Mezcladora estacionaria

Dentro de estas se incluyen las mezcladoras en el lugar de la obra y las mezcladoras centrales de las plantas de concreto premezclado. Se encuentran disponibles en tamaños desde 56 litros hasta 9.2 m³. Existen dos tipos diferentes:

- De tipo basculante o fijo
- De tipo de paleta o de aspa rotatoria con abertura superior.

Pueden estar equipadas con botes de carga y algunas con un canalón oscilante de descarga. Muchas mezcladoras cuentan con dispositivos para medir el tiempo.

2.2.3.2 Concreto mezclado en camión

El concreto es mezclado totalmente en el camión mezclador. La norma ASTM C-94 señala que cuando se utiliza un camión mezclador para llevar a cabo todo el proceso, normalmente se requieren de 70 a 100 revoluciones del tambor a la velocidad de mezclado designada por el fabricante para producir la uniformidad especificada en el concreto.

No se debe recurrir a más de 100 revoluciones a esta velocidad que generalmente va de 4 a 22 rpm. Todas las revoluciones después de la número 100 deberán ser a la velocidad de agitación que es aproximadamente 2 a 6 rpm. El mezclado a altas velocidades durante períodos prolongados, de una o más horas, puede producir pérdida de resistencia en el concreto, aumento de temperatura, pérdida excesiva de aire incluido y pérdida acelerada de asentamiento.

Siempre se deberán operar los camiones mezcladores y agitadores dentro de los límites de volumen y velocidad designados por el fabricante del equipo.

2.2.3.3 Concreto mezclado en dos fases

Es el concreto premezclado que tiene una mezcla parcial iniciada en la planta central o planta fija y terminada en el transporte por un camión mezclador. Es una combinación de los procesos anteriores que se utiliza cuando las condiciones del proyecto así lo requieren.

2.3 Transporte a la obra

El transporte del concreto desde una planta central, depende de la capacidad y tiempo de entrega, condiciones de uso, acceso y ubicación del sitio de colocación, los ingredientes de la mezcla y las condiciones ambientales, entre otros factores.

Debido a que la hidratación del cemento, la pérdida del asentamiento y aire son procesos irreversibles que aumentan con el paso del tiempo, es conveniente mantener al mínimo el lapso de tiempo entre el mezclado y la entrega del concreto. Por esto, la norma ASTM C-94 estipula que sea entregado y descargado en el transcurso de 90 minutos o antes de que el tambor haya girado 300 veces después de la dosificación de los materiales. Sin embargo ese límite se puede ignorar bajo ciertas circunstancias.

Una programación anticipada puede ayudar en la elección del método más adecuado evitando así la ocurrencia de problemas, deberá tener en consideración tres eventos, que en caso sucedan durante el transporte y colocación, podrían afectar seriamente la calidad del trabajo terminado:

- **Retrasos.** El objetivo que se persigue al hacer cualquier programa, es producir el trabajo con la mayor rapidez contando con la mejor fuerza laboral y el equipo adecuado para realizarlo, se logrará una buena productividad si se planea el trabajo para aprovecharlos al máximo, de manera que se reduzca el tiempo de retraso durante el transporte y colocación del concreto.

- **Endurecimiento temprano y secado.** El concreto empieza a endurecer en el momento en que se mezcla el cemento con el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre durante los primeros 30 minutos normalmente no presenta problemas; por lo general el concreto que se haya mantenido en agitación se puede colocar y compactar dentro de la primera hora y media posterior al mezclado. La planeación deberá eliminar o minimizar cualquier variable que permita que el concreto endurezca hasta el grado que no se pueda lograr una completa consolidación y se dificulte efectuar el acabado.

Se dispone de menos tiempo cuando existen condiciones que aceleran el proceso de endurecimiento, como ocurre en los climas cálidos y secos; con el uso de aditivos acelerantes y concreto calentado.

- **Segregación.** Es la tendencia que presenta el agregado grueso a separarse del mortero cemento-arena. Esto tiene como consecuencia que parte de la mezcla tenga una cantidad demasiado pequeña de agregado grueso y que el resto tenga agregado grueso en cantidades excesivas. Probablemente la primera parte se contraerá más y se agrietará, además tendrá una resistencia baja a la abrasión. La segunda será demasiado áspera para lograr una consolidación y acabado total y será causa frecuente de ratoneras. Los métodos y equipos que lleguen a usarse para transportar y manejar concreto no deberán ser causa de segregación.

2.3.1 Camiones mezcladores

Son mezcladoras de concreto montadas sobre camiones u otros vehículos, usadas para la mezcla completa de los ingredientes del concreto después de que han sido dosificados en la planta. Los camiones mezcladores son empleados tanto para mezclar como para transportar concreto.

Cuando se mezcla en camión o en dos fases, el volumen de la mezcla no debe exceder de 63% del volumen total del tambor. Cuando el concreto es mezclado en planta y después transportado en el camión, el volumen puede aumentar hasta el 80% de la capacidad del tambor.

Si las paletas del mezclador se han desgastado o se han recubierto de concreto endurecido, la acción de mezclado será menos eficiente. Se deben

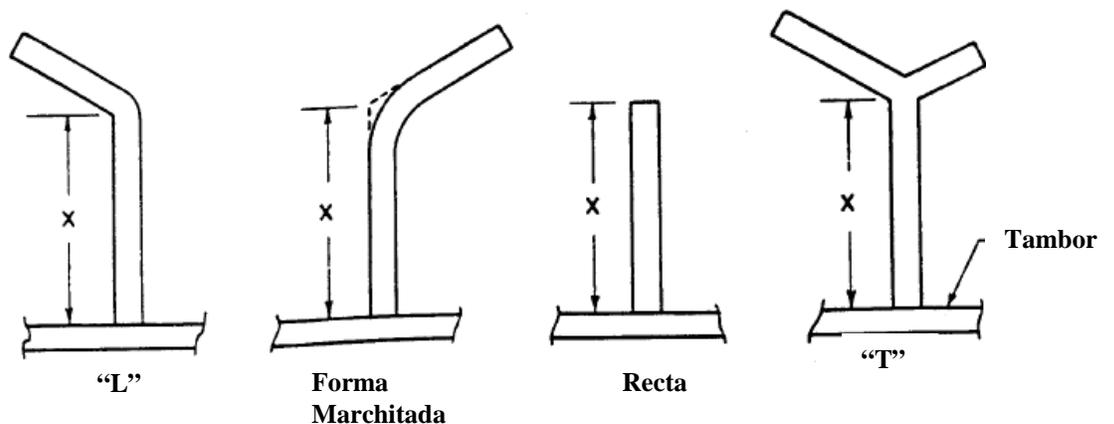
reemplazar las paletas muy desgastadas y el concreto endurecido deberá ser removido periódicamente, de preferencia después de cada día de producción.

Cada camión mezclador deberá contar con los siguientes requerimientos:

- Condición interior satisfactoria: ninguna acumulación apreciable de concreto endurecido; paletas libres de desgaste excesivo.
- Aberturas para carga y descarga en buena condición: libre de acumulaciones apreciables de cemento o concreto; superficies limpias.
- Equipado con un dispositivo que indique el número de revoluciones del tambor.
- En unidades equipadas para agregar agua de mezclado, el equipo debe estar en condiciones de trabajo apropiadas.

Existen varios tipos de paletas o aspas de mezclado, dependiendo del fabricante (ver Figura 3).

Figura 3. Tipos de paletas de mezclado



Fuente: *National Ready Mixed Concrete Association*. **Certificación de producción de concreto premezclado. Pág. 12**

2.3.2 Remezclado del concreto

Luego que el concreto ha sido transportado a la obra, es necesario realizarle un remezclado. El concreto fresco que se deja agitar en el tambor del camión mezclador tiende a rigidizarse antes que se alcance el fraguado inicial, este se puede usar si al remezclarlo se vuelve lo suficientemente plástico para ser compactado en la formaleta. Antes de la descarga, el tambor debe girarse de nuevo, a la velocidad de mezclado por unas 10 a 15 revoluciones con el objeto de rehomogenizar la mezcla. Bajo una supervisión cuidadosa, se puede agregar una pequeña cantidad de agua siempre y cuando se cumpla con las especificaciones siguientes:

- No exceda la relación agua-cemento máxima permisible;
- No se rebase el asentamiento máximo permisible;
- No se sobrepase el tiempo máximo permisible de mezclado y agitación;
- Se remezcle el concreto por al menos la mitad del tiempo de mezclado mínimo requerido o número de revoluciones.

3. PLANTA DURACRETO

3.1 Generalidades

Duracreto es una empresa dedicada a la producción de concreto premezclado, ubicada en el caserío el Frutal zona 8 de San Miguel Petapa. Fue fundada en noviembre del 2005, despachando sus primeros pedidos de concreto el 30 de enero del 2006.

Es una empresa reciente, pero su personal operativo y administrativo tiene una experiencia de 10 años en la industria del concreto premezclado, lo que ha coadyuvado para su buen funcionamiento.

El personal operativo está formado por colocación, producción, distribución y control de calidad, asimismo cuenta con equipo y maquinaria con capacidad para despachar 400 metros cúbicos diarios de concreto premezclado.

Duracreto cuenta con las siguientes áreas de trabajo (ver Figuras 4-7):

- Oficinas administrativas
- Taller mecánico
- Laboratorio de control de calidad
- Despacho
- Bodega de almacenamiento

Figura 4. Planta Duracreto

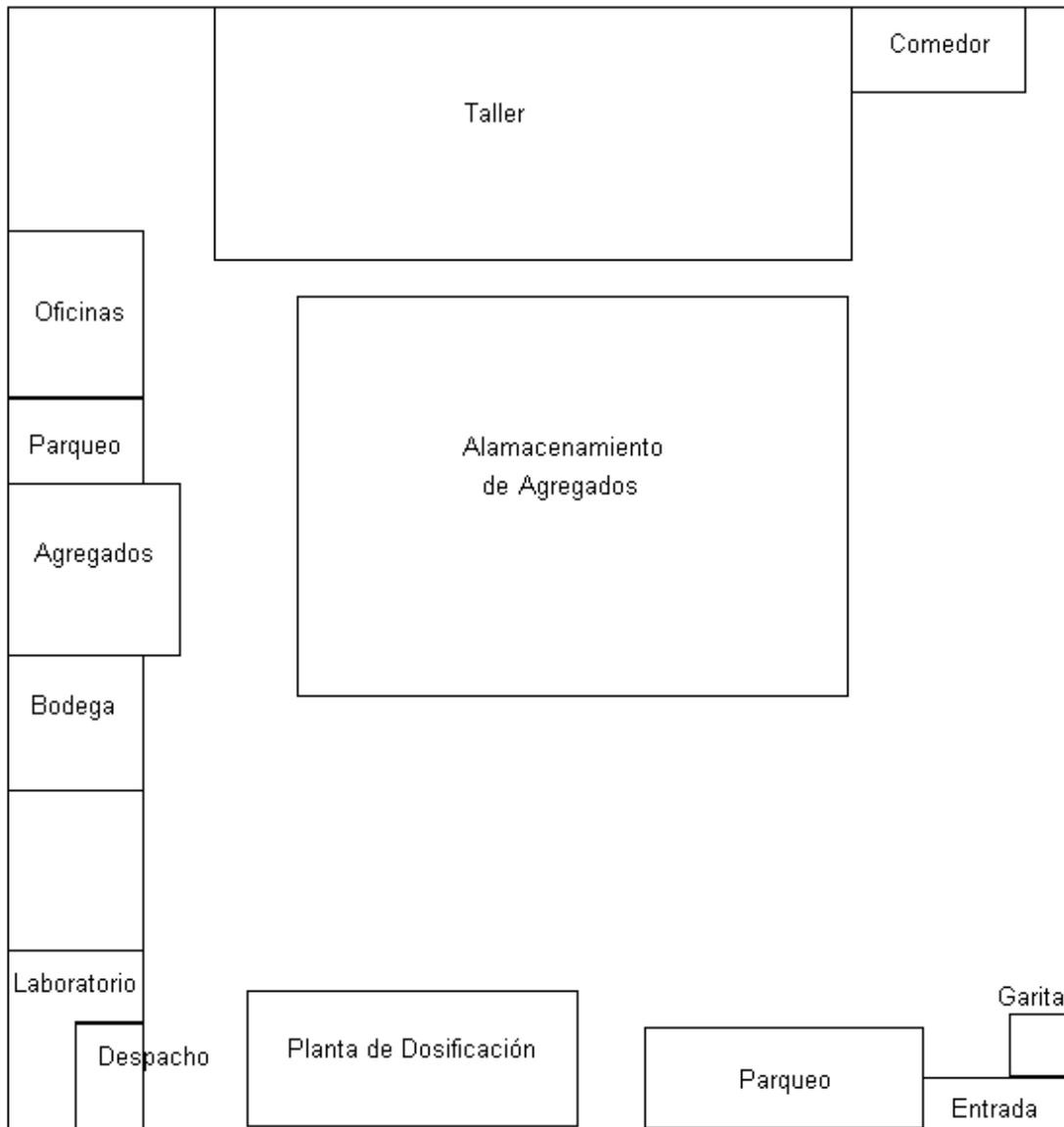


Figura 5. Área de oficinas



Figura 6. Área de taller



Figura 7. Laboratorio control de calidad



3.2 Materia Prima

Los materiales utilizados por Duracreto, cumplen con las especificaciones necesarias para producir un concreto de alta calidad y satisfacer la demanda del mercado. Se pueden resumir de la siguiente manera:

- Los agregados gruesos son de piedra caliza triturada, estos se almacenan en el patio, separados según su tamaño máximo (ver Figuras 4 y 8).
- Los agregados finos son por lo general de arena de río y se almacenan en el patio en espacio separado a los gruesos.
- El agua para mezclado es del servicio municipal.
- El cemento a granel (Cementos Progreso), se almacena en el silo para cemento de la planta dosificadora. También hay existencia de bolsas de cemento en bodega.

- Los aditivos se almacenan por toneles en la bodega.

Figura 8. Almacenamiento de agregados



3.3 Equipo de dosificación

Duracreto cuenta con una planta central automatizada y cinco plantas portátiles, las cuales se describen a continuación.

3.3.1 Planta Central

Se ubica en las instalaciones de Duracreto, cubre generalmente todos los pedidos de concreto premezclado en el Área Metropolitana. Es marca ODISA, modelo 6000. Es una planta dosificadora móvil, con una producción de 75 a 100 m³/hora. Cuenta con celdas de carga y un silo para almacenamiento del cemento, alimentado por gravedad. Es una planta precableada y de fácil instalación. Tiene un sistema de dosificación 100% automatizado con impresión de hojas de carga, asimismo las balanzas están certificadas por un ente externo (ver Figuras 4 y 9).

Especificaciones técnicas de la planta central (ver Figuras 10-12):

- Tolvas de pesaje de 3.75 m³ montadas en celdas de carga.
- Silo de cemento de 26 m³, de un solo compartimiento.
- Tolvas de agregados de 13 m³, tres compartimientos en “T”.
- Banda transportadora de agregados de 24” con motor de 10 HP.
- Contador de agua de 2” y 160 gpm.
- Compresor de aire de 5 HP.
- Tablero de control eléctrico.
- Tablero de fuerza de 440 v y control manual de 110 v.
- Sistema de transporte con un eje de 22,000 lb, 4 llantas, frenos y luces de transporte.

Figura 9. Planta de dosificación



Figura 10. Silo para almacenamiento del cemento



Figura 11. Tolvas para agregados



Figura 12. Tablero de control planta de dosificación



3.3.2 Plantas portátiles

Sirven para suministro de concreto premezclado principalmente en el interior del país, así como en los proyectos que demanden gran cantidad de concreto diariamente. Al igual que la planta central, son marca ODISA, modelo 2530. Son móviles, con capacidad de producción de 30 m³/hora. Cuentan con celdas de carga y un transportador sin fin con tolva rompesacos para el cemento. Son plantas precableadas y de fácil instalación.

Especificaciones técnicas de las plantas portátiles:

- Tolva de pesaje de agregados de 6 m³ montadas en celdas de carga.
- Indicador digital de 5 dígitos para pesaje.
- Transportador de banda de 24" x 6m, con motor de 5 HP.
- Sistema de agua con contador de agua de 2", badger digital y bomba de agua de 5 HP.

- Transporte helicoidal para cemento, con tolva rompesacos.
- Tablero de fuerza 220/60 Hz.
- Tablero de control.
- Sistema de transporte para remolcar planta y trineo de helicoidal.

3.4 Equipo de mezclado y transporte

Duracreto cuenta con una flotilla de 20 camiones para el mezclado y transporte del concreto (ver Figura 13). Cada camión cuenta con lo siguiente:

- Un tambor giratorio fabricado de acero de 0.63 mm (¼") y resistente a la abrasión, con capacidad entre 6 y 7.5 m³.
- Las aspas de mezclado fabricadas de acero de 0.63 mm (¼") de espesor.
- Diseño de tambor que combina excelentes propiedades de carga, mezclado y descarga de concreto, así como su fácil limpieza.
- Una tolva de carga abatible.
- Reductor planetario.
- Control en la cabina.
- Salpicaderas.
- Enfriador y tanque de aceite.
- Tanque de agua con capacidad de almacenar 473 litros de agua.
- Escalera para el chequeo del concreto.

Es importante resaltar que la mayoría de los pilotos que laboran en Duracreto tienen amplia experiencia en el mezclado y transporte del concreto premezclado de más de 10 años.

Figura 13. Camión mezclador Duracreto



3.5 Control de calidad

Las materias primas son evaluadas en el laboratorio interno para cumplir con las especificaciones requeridas en la producción del concreto premezclado. El encargado del control de calidad es el laboratorista de planta certificado por el ACI (Técnico para pruebas al concreto en la obra, Grado 1) con más de 15 años de experiencia en diseño de mezclas de concreto, ensayos de concreto y materiales (ver Tabla VIII).

Tabla VIII. Control de calidad Duracreto

Material	Característica	Frecuencia de Control	Encargado
Agregados	Humedad	Diario	Laboratorista de planta
Cemento	Resistencia a compresión	Cuando llega el proveedor	Laboratorista de planta
Concreto	Muestreo, ensayos en estado fresco y cilindros	Diario	Laboratorista de planta
Concreto	Diseño de mezclas	Cuando es requerido	Laboratorista de planta

También se realiza un control de calidad al concreto endurecido, a petición del cliente o si existen dudas de la empresa, por medio de la sub-contratación de una empresa ajena.

3.6 Concretos premezclados producidos

Duracreto cuenta con una amplia gama de concretos en su producción, para satisfacer las necesidades del cliente, entre los que están:

- Concreto convencional (ver Tabla IX).
- Concreto estructural (ver Tabla X).
- Concreto para pavimento (petición del cliente).
- Concreto fluido para vivienda en serie (petición del cliente).
- Concreto liviano (petición del cliente).
- Concreto arquitectónico (petición del cliente).

Tabla IX. Características concreto convencional Duracreto

Nomenclatura	Resistencia de diseño kg/cm ²	Tamaño máximo de agregado (mm)
3001	210	9.5
3003	210	19.1
3005	210	38.1
Otros	Petición del cliente	

Tabla X. Características concreto estructural Duracreto

Nomenclatura	Resistencia de diseño kg/cm ²	Tamaño máximo de agregado (mm)
4001	280	1.0
4003	280	19.1
4005	280	38.1
Otros	Petición del cliente	

3.7 Volumen de concreto premezclado

El volumen de concreto premezclado producido por Duracreto en el año 2006, fue de 35,000 m³ (85% de concreto convencional y 15% de otros), debido a que la empresa atendió en su mayoría, al mercado del “cliente eventual” o cliente que requería dicho concreto en una cantidad no considerable.

Para el año 2007 se tiene proyectado producir 60,000 m³ de concreto premezclado (70% de concreto convencional, 15% de concreto estructural y 15% de otros). El incremento de la producción de concreto estructural se deriva a que actualmente se atiende construcciones de edificios y centros comerciales que utilizan dicho concreto.¹

¹ Ing. Amilcar Bances. Gerente de Operaciones. Duracreto, 2007. Comunicación personal.

4. CONCRETO PREMEZCLADO SEGÚN LA NORMA ASTM C-94

La norma ASTM C-94 (Especificación estándar para concreto premezclado), rige todo lo relacionado sobre el concreto premezclado, elaborado y entregado al cliente en estado fresco. Especifica los requerimientos de la calidad del concreto, si estos no son especificados por el cliente. En cualquier caso regirá siempre la especificación del cliente. Esta especificación no cubre los métodos de colocación, compactación, curado y protección del concreto después de su entrega en la obra.

A continuación se presentan las normas aplicables para el control del volumen y calidad del concreto premezclado.

4.1 Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de prueba para concreto (ASTM C-31)

Esta práctica detalla los procedimientos para el moldeo y curado de los especímenes de una muestra representativa de concreto fresco bajo condiciones de campo.

El concreto utilizado para elaborar los especímenes, debe tener las mismas características de asentamiento, contenido de aire y porcentaje de agregados que el del concreto que está siendo colocado en obra.

Los especímenes para pruebas de resistencia del concreto deben elaborarse de acuerdo a este método para que los resultados sean confiables y que la prueba pueda ser reproducida por alguien más con el mismo concreto, siguiendo el mismo procedimiento y obteniendo los mismos resultados.

4.2 Método de ensayo para resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-39)

Este método de prueba detalla la determinación de la resistencia a la compresión de un espécimen cilíndrico de concreto que ha sido moldeado y curado previamente.

4.3 Método estándar de ensayo para peso unitario y rendimiento del concreto (ASTM C-138)

Este método de prueba cubre la determinación del peso unitario o densidad de una mezcla de concreto fresco y proporciona las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire del concreto. Cabe mencionar que se entiende como rendimiento al volumen del concreto producido por una mezcla integrada por cantidades conocidas de materiales.

4.4 Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico (ASTM C-143)

Este método de prueba cubre la determinación del asentamiento o revenimiento del concreto, tanto en laboratorio como en campo.

El propósito de la prueba es identificar la consistencia del concreto. Esta es una medida de fluidez o movilidad relativa de la mezcla de concreto. El asentamiento no mide el contenido de agua del concreto.

4.5 Práctica estándar para el muestreo de mezclas de concreto fresco (ASTM C-172)

Esta práctica señala los procedimientos normalizados para obtener una muestra representativa de una carga de concreto fresco, como es entregado en el sitio de la obra y donde las pruebas se llevan a cabo para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad de las especificaciones con las que el concreto fue despachado.

Asimismo indica los límites de tiempo específicos respecto a cuando deben empezar las pruebas para determinar el asentamiento y contenido de aire, así como cuando iniciar el moldeo de los especímenes para pruebas. Esta práctica incluye muestreo de mezcladoras estacionarias, pavimentadoras y camiones mezcladores, también de equipo con y sin agitadores para transportar concreto mezclado en plantas centrales.

4.6 Método estándar de ensayo para determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método de presión (ASTM C-231)

Este método de prueba abarca la determinación del contenido de aire en mezclas de concreto fresco. Tiene como fin, determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos de las partículas del agregado.

Se puede utilizar 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.

4.7 Método de ensayo estándar para la temperatura de mezclas de concreto fresco de cemento Pórtland (ASTM C-1064)

Este método de prueba señala la determinación de la temperatura de una mezcla de concreto fresco, elaborado con cemento Pórtland. Provee una manera para la medición de la temperatura del concreto fresco. Puede ser usado para verificar la conformidad de los requerimientos específicos para la temperatura del concreto.

5. EVALUACIÓN VOLUMEN CONCRETO PREMEZCLADO

El rendimiento del concreto, es la cantidad de mezcla fresca de concreto que se obtiene a partir de una dosificación conocida de ingredientes. Dicho en otras palabras es el volumen real de concreto premezclado despachado o recibido en la obra. Este se vende sobre la base del volumen del concreto en estado fresco en metros cúbicos (m³).

El procedimiento para el cálculo de rendimiento está descrito en la norma ASTM C-94. A continuación se presentan los aspectos más importantes sobre dicha evaluación, incluyendo el equipo, muestreo, ensayo y cálculos necesarios, así también, las posibles causas de las variaciones que existen en el rendimiento.

5.1 Equipo de ensayo

El equipo de ensayo que se utiliza para la evaluación del volumen del concreto premezclado tiene varios componentes que a continuación se describen (Ver Figura 14).

Figura 14. Equipo de ensayo evaluación volumen



5.1.1 Peso unitario (ASTM C-138)

5.1.1.1 Balanza

Se utiliza una balanza o báscula con precisión de 0.045 kg (0.1 lb) o dentro del 0.3% del peso de la muestra en cualquier punto del rango en que se utilice. Dicho rango debe estar entre cero hasta el peso de la muestra más 2,600 kg/m³ (160 libras/pie³).

5.1.1.2 Varilla de apisonado

Debe ser recta con un diámetro de 16 mm (5/8"), de aproximadamente una longitud de 380 mm (15") y con la punta semiesférica.

5.1.1.3 Recipiente de medición

Es un recipiente cilíndrico hecho de acero o material semejante. Su capacidad mínima estará de acuerdo con el tamaño máximo de agregado (ver Tabla XI). Todos los recipientes, con excepción de los medidores de contenido de aire, deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 29/C 29 M (Método estándar de ensayo para peso unitario y vacíos de agregados). Asimismo deben ser calibrados periódicamente por volumen.

Tabla XI. Capacidad de los recipientes

Tamaño nominal del agregado grueso		Capacidad del Recipiente	
pulgadas	mm	pie ³	litros
1	25.0	0.2	6
1½	37.5	0.4	11
2	50.0	0.5	14
3	75.0	1.0	28
4½	112.0	2.5	70
6	150.0	3.5	100

Fuente: *American Society Testing and Materials*. Norma ASTM C-138 "Método estándar de ensayo para peso unitario y rendimiento del concreto".

5.1.1.4 Mazo

Se utiliza un mazo con cabeza de hule o piel, el cual pesa aproximadamente 0.57 ± 0.23 kg (1.25 ± 0.5 lb) para usarse en recipientes de 14 litros (0.5 pie³) o más pequeños, para recipientes mayores un martillo con peso aproximado de 1.02 ± 0.23 kg (2.25 ± 0.5 lb).

5.1.1.5 Lámina enrasadora

Debe ser rectangular de metal plano, mínimo de 6 mm ($\frac{1}{4}$ " de espesor, también puede ser de vidrio o acrílico de 12 mm ($\frac{1}{2}$ " de espesor como mínimo. La longitud y el ancho serán mínimo 50 mm (2") más grande del diámetro del recipiente que se va usar.

5.1.1.6 Vibrador interno

Este es utilizado para la consolidación de concretos con asentamientos menores a 25 mm (1"), hasta 76 mm (3"). Los vibradores internos pueden tener un eje rígido y el otro flexible, teniendo de preferencia motor eléctrico, con una frecuencia de vibración de 7000 vibraciones por minuto o más. El diámetro exterior debe ser por lo menos de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") y no mayor de 38 mm (1.5"). La longitud del eje debe ser como mínimo de 600 mm (24").

5.2 Muestreo de concreto premezclado (ASTM C-172)

En esta norma se señalan los procedimientos, para obtener una muestra compuesta representativa de una mezcla de concreto fresco.

A continuación se presentan los pasos más importantes en el muestreo del concreto premezclado para la evaluación del volumen.

- Tome las muestras de concreto en dos o más intervalos igualmente espaciados durante la descarga de la porción media de la carga, nunca de la primera o última porción.
- Obtenga las muestras dentro de un intervalo de 15 minutos.

- Pase repetidamente el recipiente interceptando el flujo completo de la descarga o desvíe completamente el flujo hacia el recipiente de muestreo.
- Traslade las muestras al lugar de la prueba.
- Combine las muestras y remezcle con una cuchara de albañil, para formar la muestra compuesta.
- Utilice el menor tiempo posible para obtener y manipular la muestra. Protéjala del sol, viento y otras fuentes de evaporación acelerada y contaminación.

5.3 Ensayo de peso unitario (ASTM C-138)

El ensayo de peso unitario es una herramienta muy importante para controlar el volumen recibido y la calidad del concreto. Un peso unitario más bajo que el diseñado puede indicar lo siguiente:

- Cambio en las proporciones de los ingredientes
- Los materiales han cambiado (menor gravedad específica)
- Mayor contenido de aire
- Mayor contenido de agua
- Menor contenido de cemento

Inversamente, un peso unitario más alto, indicará lo contrario.

A continuación se presentan los pasos más importantes para la determinación del peso unitario del concreto premezclado.

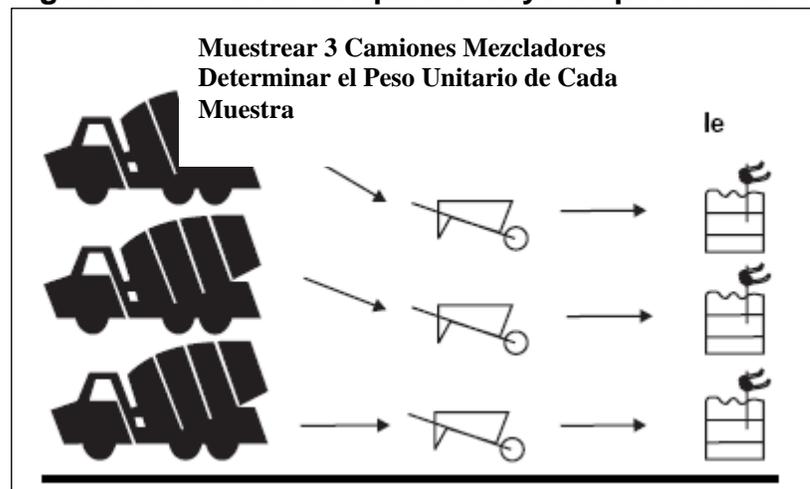
- Determine el peso del recipiente o tara vacía (kg o lb).

- Coloque el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen para compactarlas con la varilla.
- Apisone cada capa con la varilla 25 veces para recipientes menores o iguales a 14 litros.
- Apisone la capa del fondo en todo su espesor, evitando golpear el fondo del recipiente.
- Apisone las capas intermedia y superior, cada una en todo su espesor, de modo que los golpes penetren en la capa previa en aproximadamente 25 mm (1").
- Distribuya los golpes uniformemente sobre la sección del recipiente para cada capa.
- Golpee los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo, después de apisonar cada capa.
- Quite el concreto excedente o agregue una pequeña cantidad de concreto para corregir un faltante después de la compactación de la capa final.
- Enrase el concreto hasta lograr una superficie acabada.
- Limpie todo el concreto excedente y determine el peso del recipiente lleno.
- Calcule el peso neto (kg o lb).
- Calcule el peso unitario (kg/m^3 o lb/pie^3).

5.4 Cálculo del rendimiento

Se determina dividiendo el peso total de los materiales de cada batchada dosificados en planta, entre el peso unitario del concreto determinado en el lugar de descarga. El peso total de los materiales deberá calcularse como la suma de los pesos de todos los materiales que integran la mezcla incluyendo el agua. El peso unitario deberá determinarse de acuerdo con el ensayo descrito en la norma ASTM C-138, y deberán hacerse al menos tres mediciones de muestreos diferentes, tomados de la parte media de la carga de tres camiones mezcladores distintos (ver Figura 15).

Figura 15. Muestreos para ensayo de peso unitario



Fuente: *National Ready Mixed Concrete Association. El concreto en la práctica, boletín técnico no 8. Pág. 1*

$$\bullet \text{ Peso Unitario Campo } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{\text{Peso Neto del Concreto } [\text{kg}]}{\text{Volumen del recipiente } [\text{m}^3]}$$

Se determina el rendimiento de la bachada de concreto de acuerdo a,

$$\blacksquare \text{ Rendimiento } [m^3] = \frac{\text{Peso de Materiales Mezclados } [kg]}{\text{Peso Unitario Campo } \left[\frac{kg}{m^3}\right]}$$

El rendimiento relativo, es la razón del volumen obtenido del concreto, al volumen diseñado para la carga,

$$\blacksquare \text{ Rendimiento Relativo} = \frac{\text{Volumen producido por carga } [m^3]}{\text{Volumen de Diseño } [m^3]}$$

Puede calcularse también en base al peso unitario determinado en planta y campo,

$$\blacksquare \text{ Rendimiento Relativo} = \frac{\text{Peso Unitario Planta } \left[\frac{kg}{m^3}\right]}{\text{Peso Unitario Campo } \left[\frac{kg}{m^3}\right]}$$

- Si el rendimiento relativo $> 1.00 \Rightarrow$ se ha producido un exceso de concreto premezclado
- Si rendimiento relativo $< 1.00 \Rightarrow$ la cantidad de concreto en la bachada es menor del diseñado.

La tolerancia que se puede aplicar para el rendimiento relativo es $\pm 2\%$.

5.5 Factores de variación en el rendimiento del concreto

La mayor parte de las quejas están relacionadas con una deficiencia percibida o real del volumen de concreto premezclado despachado. Dichos aspectos deben ser evaluados empleando medidas de peso. Si los cálculos del peso unitario y el rendimiento indican un volumen inferior, este debe corregirse.

Los problemas en el rendimiento del concreto premezclado, pueden ser causados por las siguientes razones:

- Un mal cálculo del volumen del encofrado, cuando las dimensiones reales exceden las asumidas por una fracción de pulgada.
- Deformaciones o distorsiones en las formaletas para encofrado como resultado de la presión ejercida por el peso del concreto.
- En pavimentos, una sub-base irregular, la colocación sobre un relleno granular y el asentamiento de la sub-base antes del vaciado.
- En viviendas en serie, el desgaste interno de las formaletas para encofrado.
- La mala colocación de las formaletas, causando desnivel en estas.

Un mayor rendimiento puede ser indicativo de problemas, si el exceso de concreto se da por cantidad excesiva de aire incorporado, agregados o si las formaletas no han sido llenadas adecuadamente.

Las variaciones en los pesos del diseño de los ingredientes y en el contenido de aire del concreto, fuera de las tolerancias permitidas, pueden dar como resultado irregularidades en el rendimiento.

Los problemas de rendimiento pueden ser prevenidos o minimizados de acuerdo a lo siguiente:

- Verificar antes de comenzar el rendimiento del concreto, midiendo su peso unitario de acuerdo con la norma ASTM C-138. Repita estos ensayos si surgen problemas de variación fuera de los límites de tolerancia.
- Asegurarse que la báscula es precisa, que el recipiente de peso unitario esté adecuadamente calibrado, que se enrasa con una superficie plana y que el recipiente se limpia antes de pesarlo.
- Mida el encofrado con precisión. Asimismo verificar que está bien colocado, nivelado y no tenga un desgaste significativo.
- Al finalizar un vaciado muy extenso, mida cuidadosamente el volumen que falta, de manera que la orden restante pueda ser ajustada para garantizar la cantidad requerida de concreto.
- Estime el concreto extra necesario por sobre-excavación, por pérdidas, dimensiones incrementadas del vaciado sobre las dimensiones nominales y otras posibles causas. Calcule de 4 a 10% sobre las dimensiones planificadas. Las operaciones esporádicas que incluyen una combinación de usos de concreto tales como las losas, cimientos, muros, rellenos, etc., requerirán una mayor asignación de imprevistos.
- Construya y refuerce las formaletas para encofrado adecuadamente, para minimizar las deformaciones o distorsiones.
- Para losas sobre terreno, termine y compacte con precisión la sub-base al nivel apropiado.

6. EVALUACIÓN CALIDAD CONCRETO PREMEZCLADO

El control de calidad es una operación importante para tener certeza que el concreto premezclado, está cumpliendo con los requisitos de acuerdo a las especificaciones y procedimientos normalizados.

En nuestro país es poca la aplicación de la norma ASTM C-94 (Especificación estándar para concreto premezclado), que especifica los procedimientos que se deben seguir para el control de calidad del concreto premezclado. Generalmente sólo se muestrea concreto para evaluar asentamiento y elaborar cilindros de concreto para el control de resistencia a compresión, dejando de lado las características restantes que especifica la norma. Por otro lado, dichos cilindros de concreto muchas veces no se elaboran bajo los requerimientos de las especificaciones descritas en la norma ASTM C-31.

A continuación se presentan los aspectos más importantes sobre el equipo, muestreo y descripción de los ensayos. Así también se enlistan los factores que pudieran afectar la resistencia del concreto.

6.1 Equipo de ensayo

El equipo de ensayo que se utiliza para la evaluación de la calidad del concreto premezclado tiene varios componentes que a continuación se describen (Ver Figura 16).

Figura 16. Equipo de ensayo evaluación calidad



6.1.1 Asentamiento (ASTM C-143)

6.1.1.1 Molde

Este debe ser de un metal que no reaccione fácilmente con la pasta de cemento y tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con una base de 203 mm (8") de diámetro, la parte superior de 102 mm (4") de diámetro y una altura de 305 mm (12"). Las dimensiones individuales deben tener una tolerancia de ± 3.2 mm (1/8").

6.1.1.2 Varilla de apisonado

Debe ser recta con un diámetro de 16 mm (5/8"), de aproximadamente una longitud de 600 mm (24") y con la punta semiesférica.

6.1.2 Contenido de aire por el método de presión (ASTM C-231)

6.1.2.1 Recipiente de medición

Debe ser esencialmente de forma cilíndrica, hecho de acero o de otro material duro que no sea atacado fácilmente por la pasta de cemento. Debe tener un diámetro mínimo entre 0.75 a 1.25 veces su altura, con una capacidad de por lo menos 6 litros (0.20 pies³).

6.1.2.2 Cubierta de ensamble

Deberá estar hecha de acero o metal duro que no sea atacado por la pasta de cemento. Además debe ser construida de forma que proporcione un ajuste a presión entre el recipiente y la cubierta misma. También debe estar equipada con un medidor de aire, válvulas de aire, válvulas de expulsión de aire y de purga para la inyección o expansión del agua que sea introducida. Tendrá abrazaderas para un ajuste hermético y una bomba de mano.

6.1.2.3 Varilla de apisonado

Ver 5.1.2.

6.1.2.4 Mazo

Ver 5.1.4.

6.1.2.5 Lámina enrasadora

Ver 5.1.5.

6.1.3 Temperatura (ASTM C-1064)

6.1.3.1 Termómetro

Debe ser capaz de medir la temperatura del concreto fresco con una precisión de ± 0.5 °C (1 °F) en todo el rango de 0 a 50 °C (30 a 120 °F).

6.1.3.2 Recipiente de medición

Debe estar hecho de un material no absorbente y lo suficientemente grande para obtener en todas las direcciones un mínimo de 75 mm (3") de recubrimiento de concreto alrededor del sensor para medir la temperatura.

6.1.4 Elaboración de cilindros de concreto en campo (ASTM C-31)

6.1.4.1 Moldes cilíndricos

Los moldes para hacer especímenes de prueba de concreto deber ser de metal o de material duro, de 152 mm (6") de diámetro por 305 mm (12") de largo, asimismo deben satisfacer los requerimientos de la norma ASTM C-470 (Especificación para los moldes para hacer cilindros de concreto verticalmente) (ver Figura 17).

Figura 17. Molde cilíndrico



6.1.4.2 Varilla de apisonado

Ver 6.1.1.2.

6.1.4.3 Mazo

Ver 5.1.4.

6.2 Muestreo de concreto premezclado (ASTM C-172)

El muestreo de concreto se realiza de acuerdo a la norma ASTM C-172 (Práctica estándar para el muestreo de concreto fresco), en esta se señalan los procedimientos normalizados, para obtener una muestra compuesta representativa de una mezcla de concreto fresco.

A continuación se presentan los pasos más importantes en el muestreo del concreto premezclado para la evaluación de la calidad.

- Tome las muestras de concreto en dos o más intervalos igualmente espaciados durante la descarga de la porción media de la carga, nunca de la primera o última porción.
- Obtenga las muestras dentro de un intervalo de 15 minutos.
- Pase repetidamente el recipiente interceptando el flujo completo de la descarga o desvíe completamente el flujo hacia el recipiente de muestreo.
- El tamaño mínimo de la muestra empleada para elaborar cilindros de pruebas de resistencia deberá ser de 28 litros (1 pie³). Para ensayos rutinarios de asentamiento y contenido de aire se pueden permitir muestras más pequeñas.
- Traslade las muestras al lugar de la prueba.
- Combine las muestras y remezcle con una cuchara de albañil, para formar la muestra compuesta.
- Empiece las pruebas de revenimiento, temperatura y contenido de aire dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la porción final de la muestra compuesta.
- Empiece el moleo de cilindros dentro de los 15 minutos siguientes a la obtención de la muestra compuesta.
- Utilice el menor tiempo posible para obtener y manipular la muestra. Protéjala del sol, viento y otras fuentes de evaporación acelerada y contaminación.

6.3 Ensayo de asentamiento (ASTM C-143)

El propósito de la prueba de asentamiento es determinar la consistencia del concreto, ésta es una medida de la fluidez de la mezcla de concreto. A continuación se presentan los pasos más importantes para la determinación del asentamiento:

- Humedezca el cono y el piso o la placa base de apoyo.
- Apoye el cono firmemente contra la base parándose sobre los dos estribos de apoyo del cono para los pies. No permita que se mueva de manera alguna durante el llenado.
- Llene el cono en tres capas aproximadamente iguales en volumen, la primera a una profundidad de 70 mm (2 5/8"), la segunda a una profundidad de 160 mm (6 1/8") y la tercera justo por sobre la parte superior del cono.
- Apisone cada capa en todo su espesor 25 veces, distribuyendo los golpes uniformemente sobre toda la sección de la capa.
- Apisone la segunda y tercera capa de manera que penetre ligeramente en la capa anterior.
- Al apisonar la capa superior, mantenga todo el tiempo un exceso de concreto por encima del molde.
- Enrase en la parte superior del cono usando la varilla de apisonado.
- Levante el cono hacia arriba 300 mm (12") con un movimiento suave y sin torsión en 5 ± 2 segundos.
- Mida con precisión el asentamiento desde el borde superior del cono hasta el centro original desplazado de la superficie superior del concreto fresco.
- Realice la prueba de principio a fin en 2.5 minutos.

6.4 Ensayo de contenido de aire por el método de presión (ASTM C-231)

Este método de ensayo determinará la cantidad de vacíos de aire en el concreto, tanto incluido como atrapado. A continuación se presentan los pasos más importantes para la determinación del contenido de aire:

- Coloque el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen para compactarlas por apisonado.
- Apisone cada capa con la varilla de compactación 25 veces.
- Apisone la capa del fondo en todo su espesor, evitando golpear el fondo del recipiente.
- Apisone las capas intermedia y superior, cada una en todo su espesor, de modo que los golpes penetren en la capa previa en aproximadamente 25 mm (1").
- Golpee vigorosamente los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo, después de apisonar cada capa.
- Enrase el concreto hasta lograr una superficie acabada y limpie el borde.
- Limpie y humedezca la parte interior de la tapa antes de fijarla a la base.
- Abra ambas llaves de purga.
- Cierre la válvula de aire entre la cámara de aire y el recipiente.
- Inyecte agua por una llave de purga hasta que salga por la otra llave.
- Continúe inyectando agua en la llave de purga mientras sacude y golpea ligeramente el medidor de aire para asegurarse que todo el aire sea expulsado.
- Cierre la válvula de alivio de aire y bombee aire por arriba de la línea de presión inicial.

- Deje pasar algunos segundos para que el aire comprimido se estabilice.
- Ajuste el manómetro a la presión inicial.
- Cierre ambas llaves de purga.
- Abra la válvula de aire entre la cámara y el recipiente.
- Golpee vigorosamente los lados del recipiente con el mazo.
- Lea el porcentaje de aire después de golpear ligeramente el manómetro para estabilizar la manecilla.
- Cierre la válvula de aire y luego abra las llaves de purga para liberar la presión antes de quitar la tapa.

6.5 Ensayo de temperatura (ASTM C-1064)

La temperatura del concreto fresco es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad del concreto, tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. A continuación se presentan los pasos más importantes para la determinación de la temperatura:

- Obtenga una muestra de concreto en un recipiente no absorbente.
- Coloque el termómetro en la muestra con un mínimo de 3 pulgadas (75 mm) de recubrimiento alrededor del sensor.
- Presione suavemente el concreto alrededor del termómetro.
- Lea la temperatura después de un mínimo de 2 minutos o cuando la lectura se estabilice.
- Complete la medición de la temperatura dentro de los 5 minutos siguientes después de obtener la muestra.

6.6 Método de elaboración de cilindros de concreto en campo (ASTM C-31)

Los especímenes para pruebas de resistencia a compresión son muy importantes en la industria del concreto premezclado, ya que este se comercializa sobre la base de la resistencia a compresión y su volumen. Un resultado de un ensayo de resistencia es el promedio de al menos dos especímenes ensayados a la misma edad. Un juego de 2 a 6 cilindros pueden elaborarse a partir de la misma muestra de concreto fresco, como mínimo cada 120 m³ de concreto colocado.

A continuación se presentan los pasos más importantes para la elaboración de cilindros de concreto:

- Coloque los moldes en una superficie horizontal, rígida y nivelada, libre de vibraciones.
- Seleccione una muestra representativa de acuerdo al muestreo antes mencionado.
- Coloque el concreto en el molde, girando la herramienta de colocación alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto es descargado.
- Llene el molde en tres capas de igual volumen.
- Apisone cada capa 25 veces distribuyendo uniformemente los golpes.
- Apisone la capa inferior en todo su espesor.
- Apisone las capas intermedia y superior, penetrando 25 mm (1") en las capas subyacentes.
- Golpee ligeramente de 10 a 15 veces los lados del molde con el mazo después de varillar cada capa.

- Retire el exceso de concreto de la superficie con la varilla de apisonado y realice acabado con una cuchara de albañilería. Use la cantidad mínima de manipulación para producir una superficie plana y lisa.
- Identifique los cilindros usando un método que no altere la superficie del concreto.
- Cubra los cilindros con una placa no absorbente y no reactiva, una hoja de plástico, tapa o plato.
- No mueva los cilindros del lugar de su elaboración hasta que cumplan al menos 8 horas después del fraguado final.
- Cure los cilindros sumergidos totalmente bajo el agua hasta la fecha del ensayo de resistencia a compresión.

6.7 Factores de variación en la resistencia del concreto

Las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto dependen del adecuado control de los materiales, de la fabricación del concreto y de la realización de los ensayos.

Se ha determinado que existen hasta 60 variables que influyen en la resistencia del concreto (ver Tabla XII).

Tabla XII. Variables que influyen en la resistencia del concreto

No.	Causa básica	Causa de la variación	Posibilidad de ocurrencia	Efecto en la resistencia
MATERIALES				
1	Cemento	Tipo y composición	Con diferentes marcas	Considerable variación
2		Control en la fabricación	Una sola marca	Puede ser considerable
3		Edad y condición	Siempre es posible	Considerable variación
4	Agua	Presencias de sales	Poco frecuente	Generalmente pequeño
5		Relación agua cemento	Depende del control	Gran efecto
6	Agregado fino	Reactividad química	Comúnmente no ocurre	Puede ser considerable
7		Partículas variable	Poco frecuente	No generalizado
8		Propiedades no uniformes	Poco frecuente	No generalizado
9		Limpieza	Siempre es posible	Puede ser considerable
10		Forma de partículas	Triturado y natural	No dentro de un mismo tipo
11		Gradación	Siempre se presenta	A través de la manejabilidad
12	Agregado grueso	Reactividad química	Poco común	No apreciable
13		Partículas variable	Depende de la fuente	Generalmente pequeño
14		Propiedades no uniformes	Con material poroso	No generalizado
15		Limpieza	Siempre es posible	Puede ser considerable
16		Forma de partículas	Triturado y natural	Puede ser considerable
17		Gradación	Siempre se presenta	A través de la manejabilidad
18		Tamaño máximo	Con diferentes mezclas	A través de la manejabilidad
19	Temperatura	Cemento	Cemento caliente	No apreciable
20		Agua	Climas extremos	No generalizado
21		Agregados	Climas extremos	No generalizado
22	Mezcla	Cambios en pasta-agregados	Variaciones deliberadas	A través de la manejabilidad
DOSIFICACIÓN				
23	Cemento	Error en el pesaje	Infrecuente	No se puede considerar
24		Medido por volumen	No en planta central	Errores \pm del 20%
25	Agua	Adicionada directamente	Cuando es a criterio	No es medible
26		Contenida en la arena	Muy común	Considerable
27		Arena abultada	No en planta central	Puede ser considerable
28		Con agregado grueso	Por períodos	Puede ser considerable
29	Agregado fino	Cambios, abultamiento	No en planta central	Errores \pm del 20%
30	Agregado grueso	Cambios, operación	Con control limitado	Generalmente pequeño

31	MEZCLADO	Orden de carga	Depende del operador	Generalmente no importante
32		Primera mezcla	Sólo ocasionalmente	Puede ser considerable
33		Mezclar rápido	Con diferentes plantas	No generalizado
34		Sobre cargado	Infrecuente	No generalizado
35		Tiempo de mezclado	Frecuente	Variación puede exceder el 30%
36	ENSAYO Manejo y muestreo de los especímenes	Segregación	Trasporte y manejo	Planos de falla
37		Cambios en los componentes	Quando hay reemplado	Imposible estimar
38		Muestreo	Deferentes sitios	Puede ser apreciable
39		Exudación	Mezclas con poco agua	Generalmente pequeño
40	Compactación de los especímenes	Compactación manual	Mezclas secas	Considerable, excede el 50%
41		Vibración	Sobrevibración	Segregación en los especímenes
42		Golpe	Manejo después del fraguado	Inducción de fisuras
43		Orientación de partículas	Planos de falla	Partículas planas -40%
44	Tamaño y forma de los especímenes	Tamizado húmedo	Concreto masivo	Aumenta con el tamizado
45		Tamaño del espécimen	Moldes no normalizados	Decrece con el tamaño
46		Relación altura diámetro	Moldes no normalizados	Decrece con incrementos de la relación
47		Forma	Cubo o cilindro	Menor en cubos
48		Moldes irregulares	Moldes no normalizados	Carga no axial
49	Curado	Secado exterior	Primeras 24 horas	Pequeño
50		Humedad de curado	No hay curado	Decrece considerablemente
51		Temperatura inicial	Condiciones de congelamiento	Infrecuente
52		Temperatura	Curado en invierno	Variación considerable
53		Edad	Comparable a la misma edad	Incremento continuo
54		Contenido de humedad	Con especímenes secos	40% de diferencia
55	Refrentado de especímenes	Tapas planas	Falla común	concauidad 30%, convexo 50%
56		Material de refrentado	No apropiado	Puede ser apreciable
57		Ejes del espécimen	Problema técnico	Generalmente pequeño
58	Máquina de ensayo	Cojinete de carga	Dependiente del laboratorio	Puede ser considerable
59		Centramiento	Dependiente del laboratorio	Puede ser apreciable
60		Velocidad de carga	Dependiente del laboratorio	Generalmente pequeño

Fuente: Diego Sánchez de Guzmán. **Tecnología del Concreto y del Mortero. Pág. 191**

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

7.1 Muestra de concreto premezclado

7.1.1 Muestreos

Se realizaron 30 muestreos aleatorios en distintos proyectos que requerían concreto premezclado, ubicados dentro del departamento de Guatemala, y al igual que los ensayos, fueron realizados con el apoyo de los laboratoristas de la empresa Duracreto (ver Anexo I).

En cada uno de los muestreos se siguieron los procedimientos indicados en la norma ASTM C-172.

7.1.2 Tipo de concreto muestreado

El tipo de concreto evaluado, fue un convencional 3003 de acuerdo a la identificación de la empresa (ver Tabla IX), con una $f'c$ de 210 kg/cm² (3000 psi), elaborado con los materiales siguientes:

- Agregado grueso de cantera caliza, de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ ".
- Agregado fino de río.
- Cemento de alta resistencia inicial.
- Aditivo retardante y fluidificante.
- Agua potable del servicio municipal.

7.2 Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado

7.2.1 Procedimiento

Para la evaluación del volumen y la calidad del concreto premezclado, fue necesario el traslado del equipo y personal a las distintas obras donde los camiones mezcladores entregaban el concreto. Al llegar al proyecto, se preparó el equipo en los lugares adecuados para la buena realización de los muestreos y ensayos.

Es importante mencionar que antes de la descarga de concreto se hizo el remezclado en el camión, añadiendo un aditivo fluidificante y una mínima cantidad de agua.

Se realizaron los ensayos especificados en la norma ASTM C-94 (Especificación estándar para concreto premezclado), los cuales son:

- Elaboración y curado de cilindros de concreto para ensayos de resistencia a compresión (ASTM C-31)
- Ensayo de resistencia a compresión (ASTM C-39)
- Peso unitario y rendimiento del concreto fresco (ASTM C-138)
- Asentamiento del concreto fresco (ASTM C-143)
- Contenido de aire por el método de presión (ASTM C-231)
- Temperatura del concreto fresco (ASTM C-1064)

Los procedimientos de cada uno de los ensayos están referidos en los capítulos 5 y 6.

7.2.2 Resultados

7.2.2.1 Proyecto mercado Amatitlán

Fecha de muestreo: 19/02/2007

Ubicación: Amatitlán, Guatemala.

Tipo de Fundición: Pavimento.

Tabla XIII. Resultados evaluación volumen proyecto mercado Amatitlán

	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
Camión	2	11	5
Volumen nominal (m ³)	6.5	7.0	7.0
Peso materiales mezclados (kg)	15255.5	16310.0	16296.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2347.0	2330.0	2328.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2329.0	2332.0	2339.0
Rendimiento (m ³)	6.550	6.994	6.967
Rendimiento relativo	1.008	0.999	0.995

Figura 18. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto mercado Amatitlán

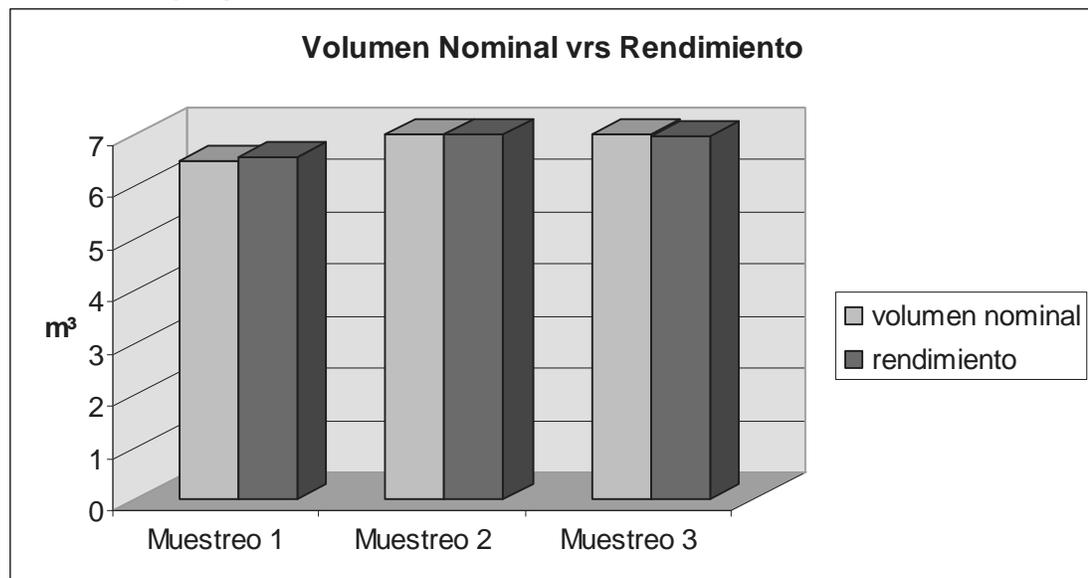
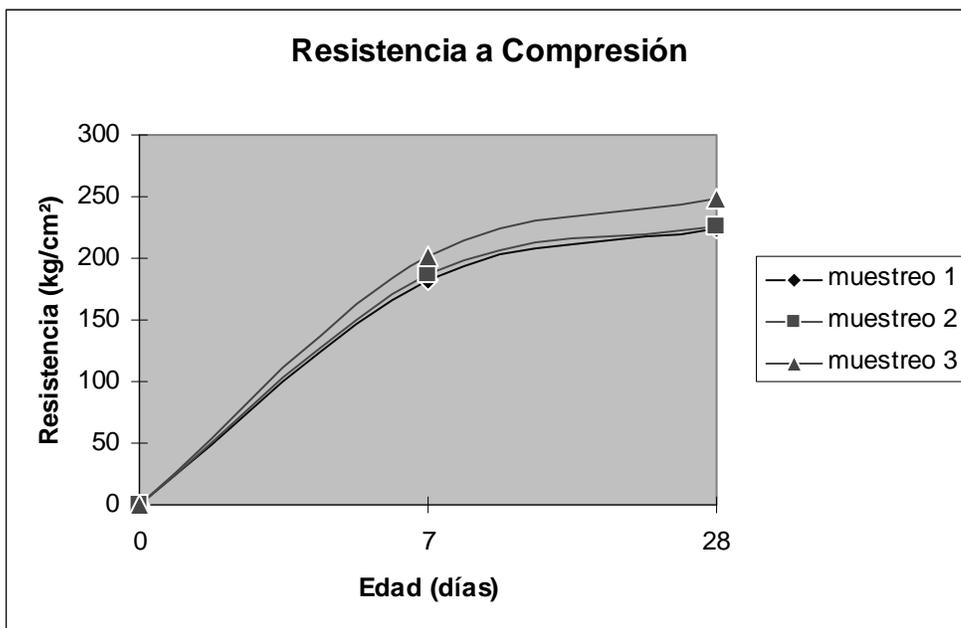


Tabla XIV. Resultados evaluación calidad proyecto mercado Amatitlán

	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
Camión	2	11	5
Hora salida de planta	12:34	13:05	13:56
Hora de descarga	13:46	14:50	15:40
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2347.0	2330.0	2328.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2329.0	2332.0	2339.0
Rendimiento relativo	1.008	0.999	0.995
Contenido de aire (%)	1.7	1.9	1.9
Temperatura (°C)	28.5	28.5	27.0
Asentamiento (cm)	13.3	7.6	8.3
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	182.4	187.8	202.0
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	223.7	226.0	248.6

Figura 19. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto mercado Amatitlán



7.2.2.2 Proyecto vivienda Planes Bárcenas

Fecha de muestreo: 01/03/2007

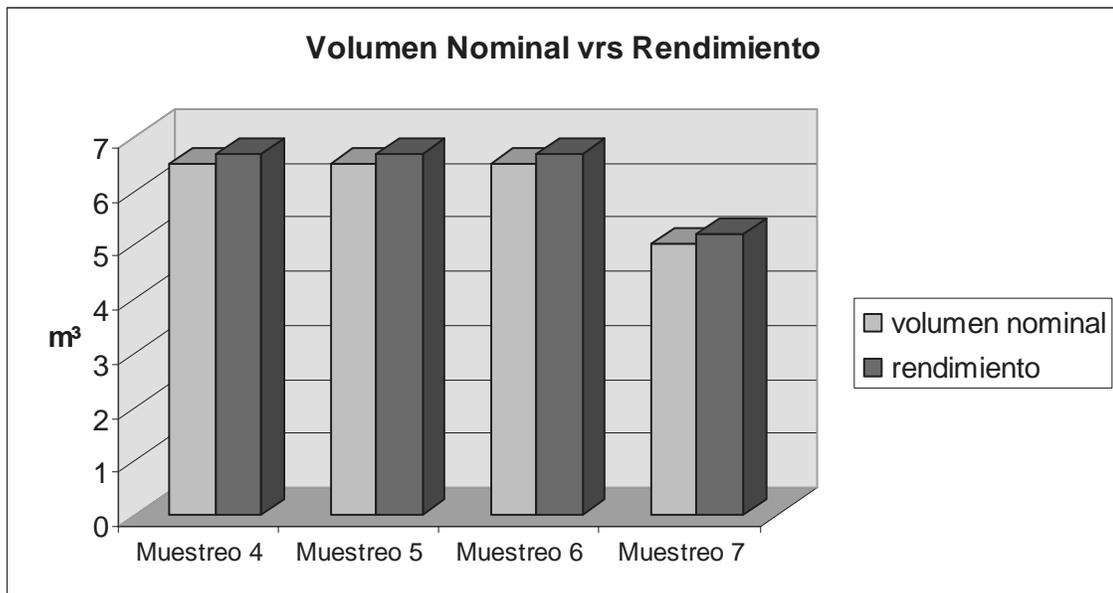
Ubicación: Bárcenas, Guatemala.

Tipo de Fundición: Losa plana.

**Tabla XV. Resultados evaluación volumen
proyecto vivienda Planes de Bárcenas**

	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7
Camión	4	19	5	12
Volumen nominal (m ³)	6.5	6.5	6.5	5.0
Peso materiales mezclados (kg)	15210.0	15210.0	15210.0	11700.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2340.0	2340.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2284.0	2281.0	2278.0	2250.0
Rendimiento (m ³)	6.659	6.668	6.677	6.760
Rendimiento relativo	1.025	1.026	1.027	1.040

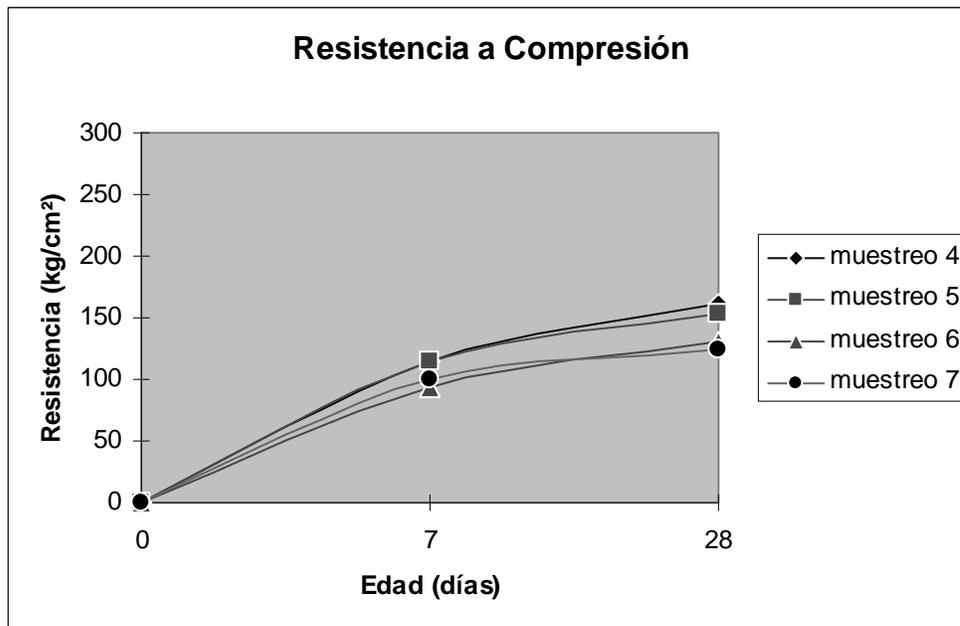
**Figura 20. Gráfica resultados evaluación volumen
proyecto vivienda Planes de Bárcenas**



**Tabla XVI. Resultados evaluación calidad
proyecto vivienda Planes de Bárcenas**

	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7
Camión	4	19	5	12
Hora salida de planta	11:42	11:54	11:59	12:26
Hora de descarga	13:16	13:50	14:20	15:10
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2340.0	2340.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2284.0	2281.0	2278.0	2250.0
Rendimiento relativo	1.025	1.026	1.027	1.040
Contenido de aire (%)	1.3	1.35	1.7	1.6
Temperatura (°C)	28.0	27.0	28.0	30.0
Asentamiento (cm)	14.0	13.3	12.7	15.2
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	114.7	115.1	93.8	99.7
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	161.2	152.4	130.9	124.7

**Figura 21. Gráfica resultados evaluación calidad
proyecto vivienda Planes de Bárcenas**



7.2.2.3 Proyecto bodegas Villa Nueva

Fecha de muestreo: 06/03/2007

Ubicación: Villa Nueva, Guatemala.

Tipo de Fundición: Piso de bodega.

Tabla XVII. Resultados evaluación volumen proyecto Bodegas Villa Nueva

	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	Muestreo 11
Camión	2	12	19	2
Volumen nominal (m ³)	6.0	5.0	7.0	6.0
Peso materiales mezclados (kg)	14100.0	11720.0	16394.0	14040.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2350.0	2344.0	2342.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2320.0	2320.0	2337.0	2317.0
Rendimiento (m ³)	6.077	5.051	7.015	6.059
Rendimiento relativo	1.013	1.010	1.002	1.010

Figura 22. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto bodegas Villa Nueva

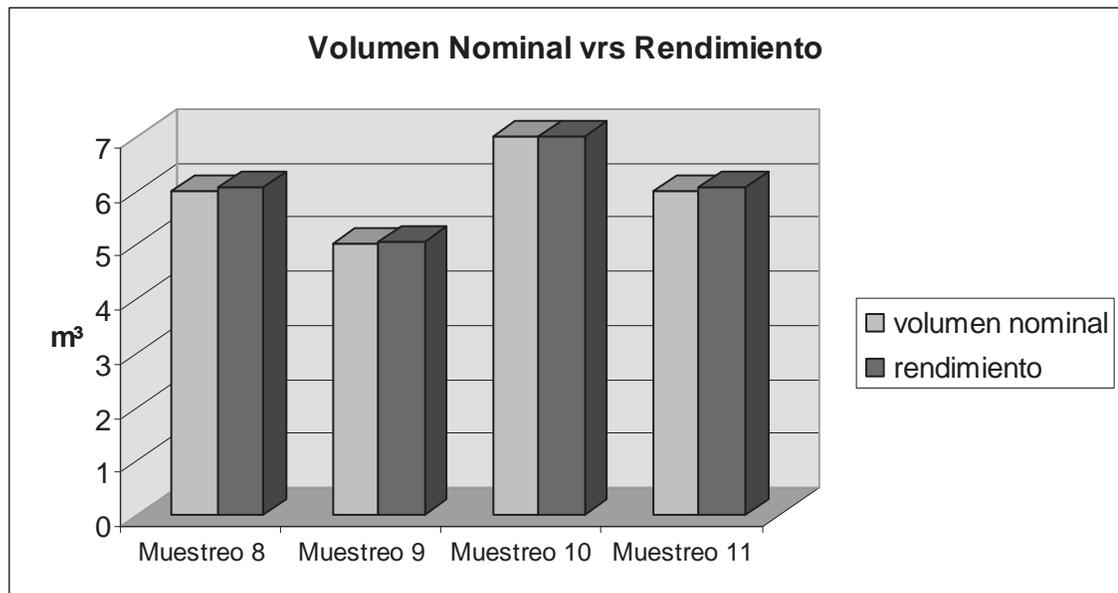
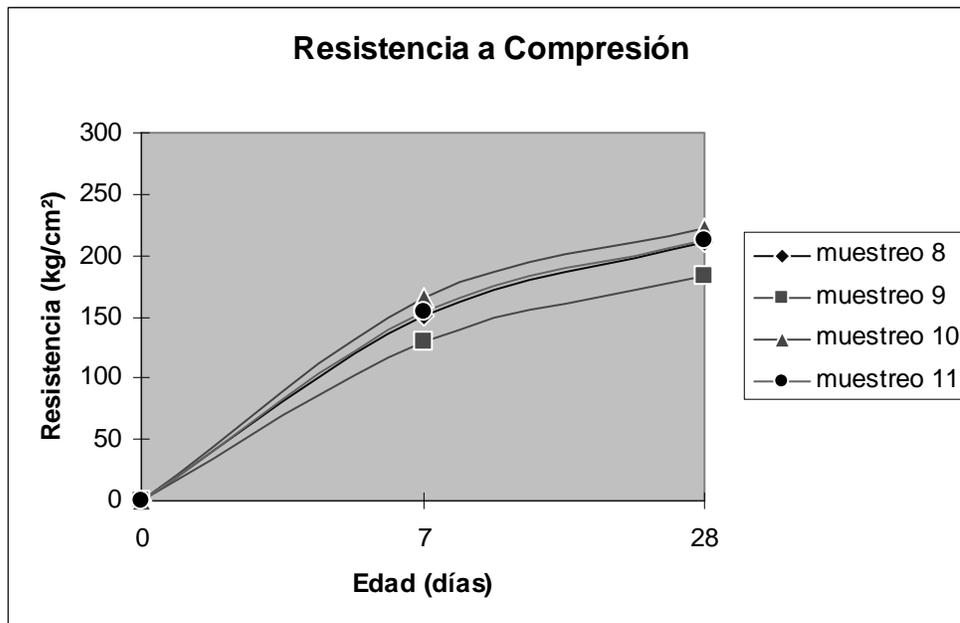


Tabla XVIII. Resultados evaluación calidad proyecto bodegas Villa Nueva

	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	Muestreo 11
Camión	2	12	19	2
Hora salida de planta	08:45	08:55	09:10	10:50
Hora de descarga	09:50	10:25	11:00	11:40
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2350.0	2344.0	2342.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2320.0	2320.0	2337.0	2317.0
Rendimiento relativo	1.013	1.01	1.002	1.010
Contenido de aire (%)	2.6	2.7	1.5	2.0
Temperatura (°C)	25.0	26.0	24.0	26.0
Asentamiento (cm)	14.0	14.0	12.1	16.5
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	151.3	129.7	165.6	154.1
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	210.3	183.9	222.7	212.3

Figura 23. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto bodegas Villa Nueva



7.2.2.4 Proyecto vivienda Atlantis (1)

Fecha de muestreo: 09/03/2007

Ubicación: Zona 17, Ciudad Guatemala.

Tipo de Fundición: Losa.

Tabla XIX. Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (1)

	Muestreo 12	Muestreo 13	Muestreo 14	Muestreo 15
Camión	13	2	5	16
Volumen nominal (m ³)	5.0	6.0	6.5	6.5
Peso materiales mezclados (kg)	11735.0	14154.0	15333.5	15242.5
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2347.0	2359.0	2359.0	2345.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2344.0	2349.0	2332.0	2327.0
Rendimiento (m ³)	5.006	6.026	6.575	6.550
Rendimiento relativo	1.001	1.004	1.012	1.008

Figura 24. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (1)

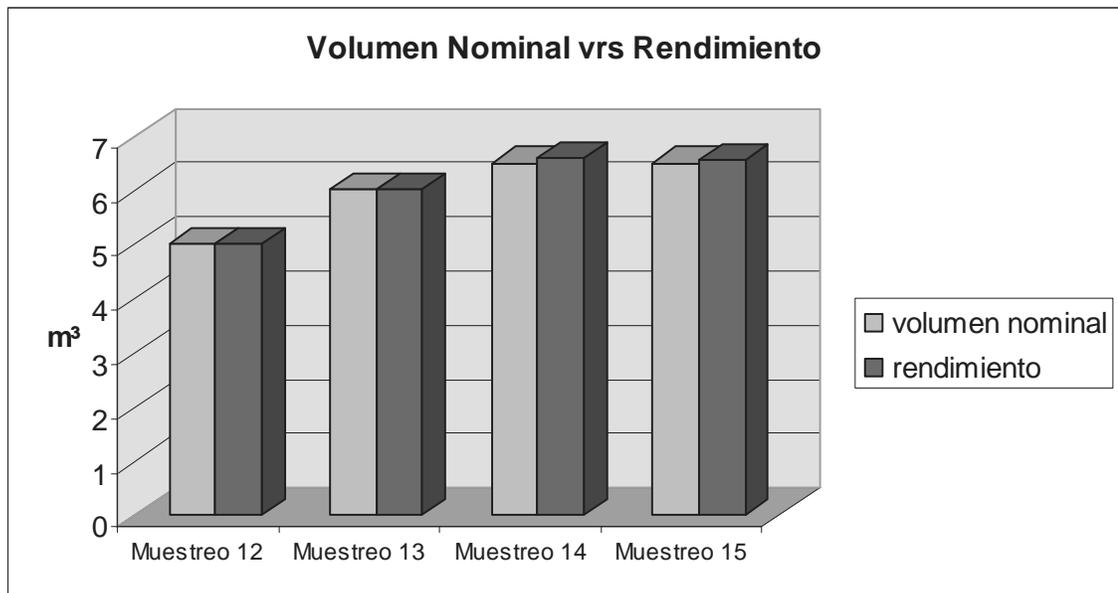
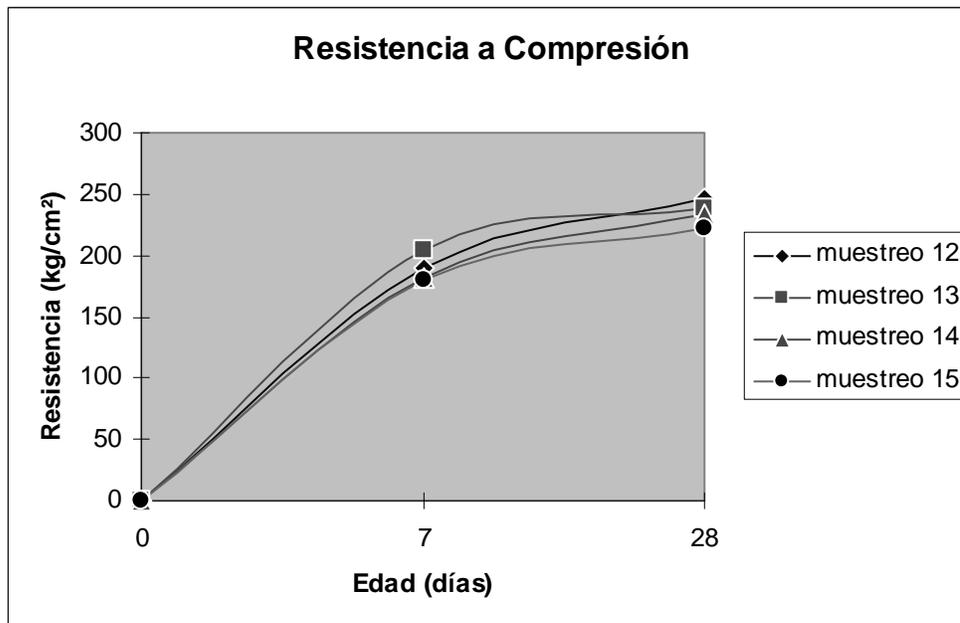


Tabla XX. Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (1)

	Muestreo 12	Muestreo 13	Muestreo 14	Muestreo 15
Camión	13	2	5	16
Hora salida de planta	08:20	08:55	09:50	11:50
Hora de descarga	10:40	11:10	12:20	13:10
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2347.0	2359.0	2359.0	2345.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2344.0	2349.0	2332.0	2327.0
Rendimiento relativo	1.001	1.004	1.012	1.008
Contenido de aire (%)	1.4	1.35	1.7	1.8
Temperatura (°C)	30.0	28.0	27.5	28.5
Asentamiento (cm)	14.0	19.1	19.1	20.3
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	190.2	204.3	181.2	180.2
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	245.8	237.6	233.0	222.6

Figura 25. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (1)



7.2.2.5 Proyecto bodegas Mega Planta

Fecha de muestreo: 15/03/2007

Ubicación: Amatitlán, Guatemala.

Tipo de Fundición: Zapata.

Tabla XXI. Resultados evaluación volumen proyecto bodegas Mega Planta

	Muestreo 16	Muestreo 17	Muestreo 18
Camión	4	7	6
Volumen nominal (m ³)	7.0	7.0	7.0
Peso materiales mezclados (kg)	16380.0	16380.0	16527.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2340.0	2361.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2338.0	2334.0	2381.0
Rendimiento (m ³)	7.006	7.018	6.941
Rendimiento relativo	1.001	1.003	0.992

Figura 26. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto bodegas Mega Planta

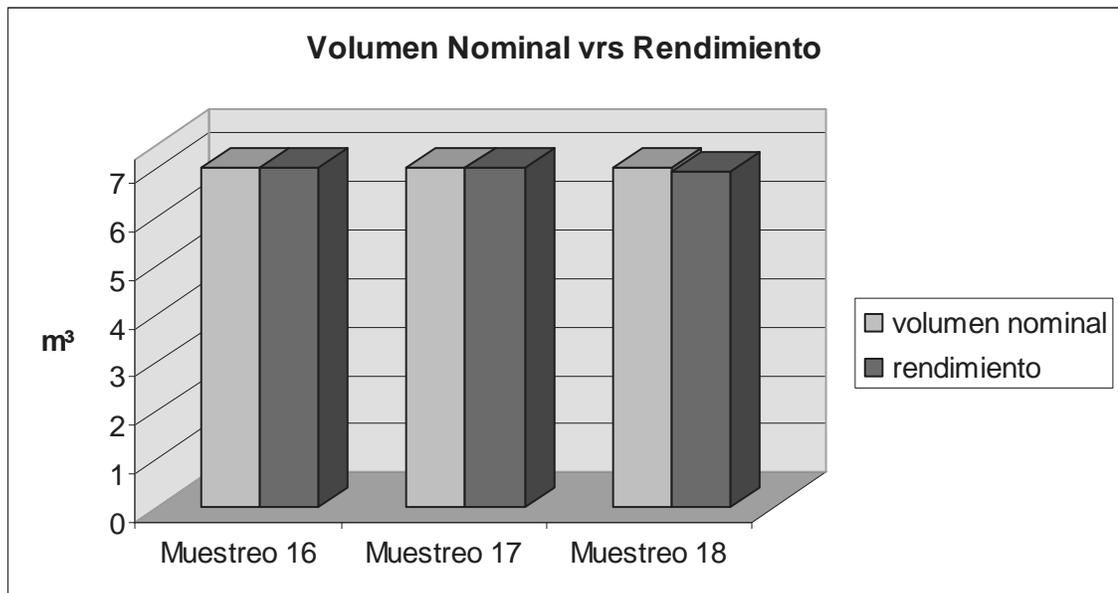
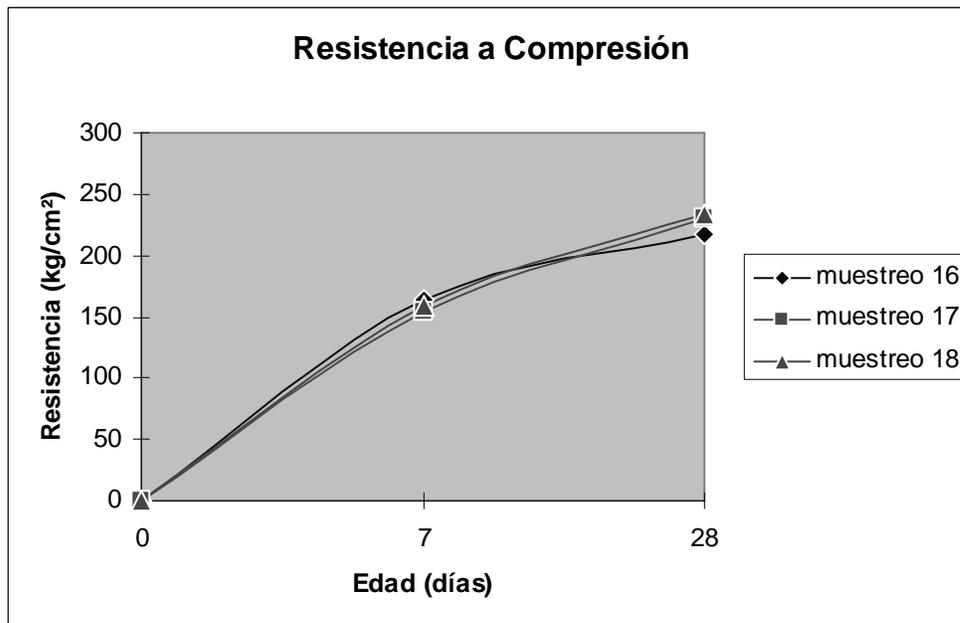


Tabla XXII. Resultados evaluación calidad proyecto bodegas Mega Planta

	Muestreo 16	Muestreo 17	Muestreo 18
Camión	4	7	6
Hora salida de planta	14:26	14:45	15:15
Hora de descarga	16:16	16:30	16:50
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2340.0	2361.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2338.0	2334.0	2381.0
Rendimiento relativo	1.001	1.003	0.992
Contenido de aire (%)	1.6	1.45	1.2
Temperatura (°C)	29.0	28.5	30.0
Asentamiento (cm)	15.2	17.1	12.7
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	163.9	154.3	159.2
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	216.7	229.9	233.7

Figura 27. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto bodegas Mega Planta



7.2.2.6 Proyecto vivienda San Cristóbal

Fecha de muestreo: 12/04/2007

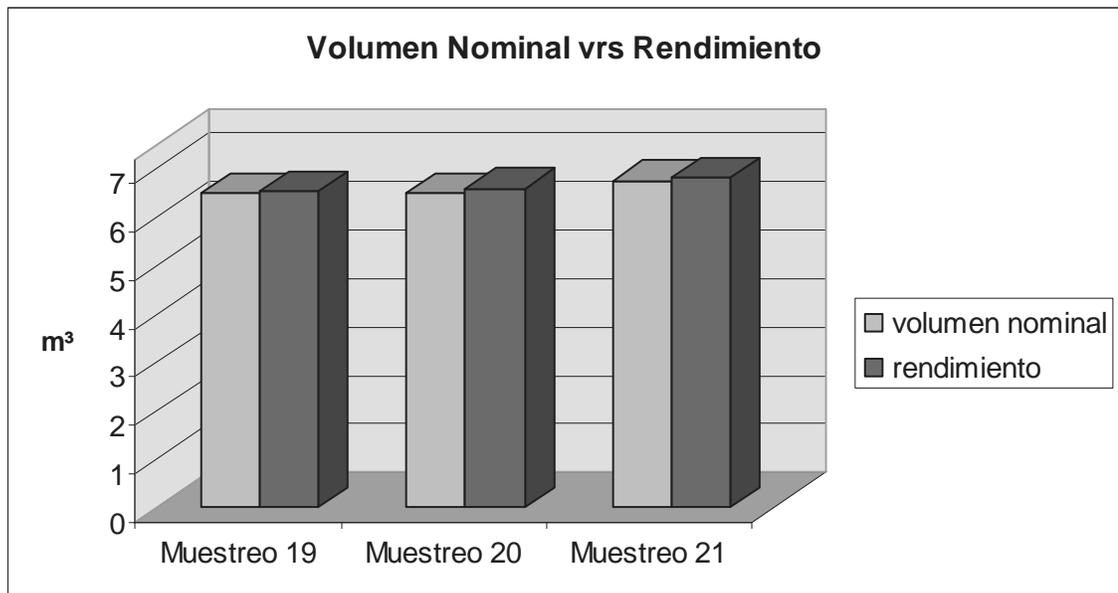
Ubicación: San Cristóbal, Mixco.

Tipo de Fundición: Losa inclinada.

Tabla XXIII. Resultados evaluación volumen proyecto vivienda San Cristóbal

	Muestreo 19	Muestreo 20	Muestreo 21
Camión	4	3	6
Volumen nominal (m ³)	6.5	6.5	6.75
Peso materiales mezclados (kg)	15223.0	15132.0	15795.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2342.0	2328.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2336.0	2298.0	2319.0
Rendimiento (m ³)	6.516	6.589	6.811
Rendimiento relativo	1.003	1.013	1.009

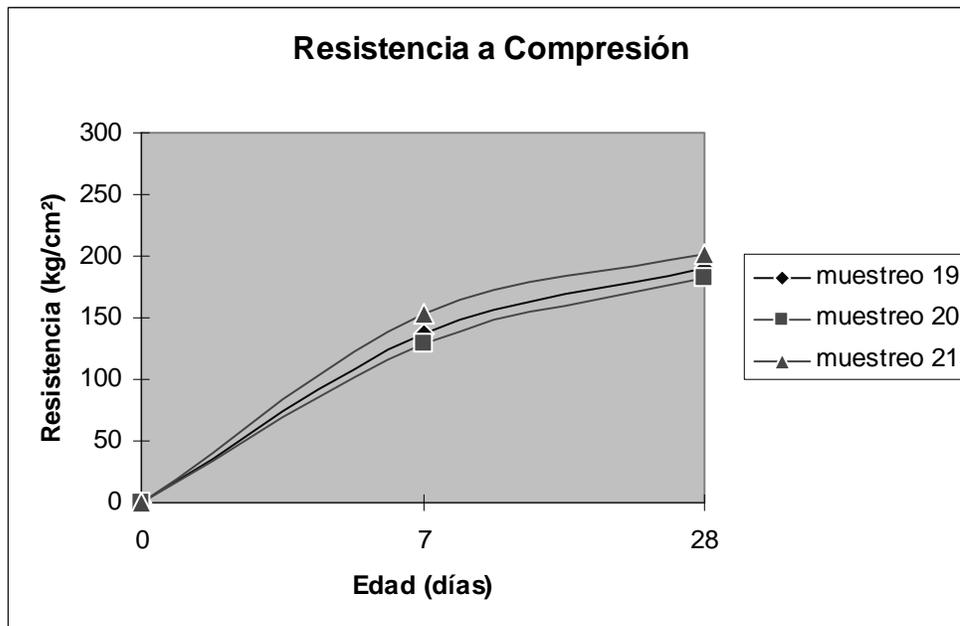
Figura 28. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda San Cristóbal



**Tabla XXIV. Resultados evaluación calidad
proyecto vivienda San Cristóbal**

	Muestreo 19	Muestreo 20	Muestreo 21
Camión	4	3	6
Hora salida de planta	05:10	05:20	05:35
Hora de descarga	06:30	07:15	08:00
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2342.0	2328.0	2340.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2336.0	2298.0	2319.0
Rendimiento relativo	1.003	1.013	1.009
Contenido de aire (%)	1.5	2.6	2.1
Temperatura (°C)	25.0	29.0	28.0
Asentamiento (cm)	7.6	7.6	10.2
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	137.7	128.9	152.8
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	190.3	181.9	201.5

**Figura 29. Gráfica resultados evaluación calidad
proyecto vivienda San Cristóbal**



7.2.2.7 Proyecto vivienda Atlantis (2)

Fecha de muestreo: 13/04/2007

Ubicación: Zona 17, Ciudad Guatemala.

Tipo de Fundición: Losa.

Tabla XXV. Resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (2)

	Muestreo 22	Muestreo 23	Muestreo 24
Camión	5	12	16
Volumen nominal (m ³)	7.0	5.25	7.0
Peso materiales mezclados (kg)	16205.0	12258.75	16226.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2315.0	2335.0	2318.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2290.0	2324.0	2293.0
Rendimiento (m ³)	7.076	5.275	7.076
Rendimiento relativo	1.011	1.005	1.011

Figura 30. Gráfica resultados evaluación volumen proyecto vivienda Atlantis (2)

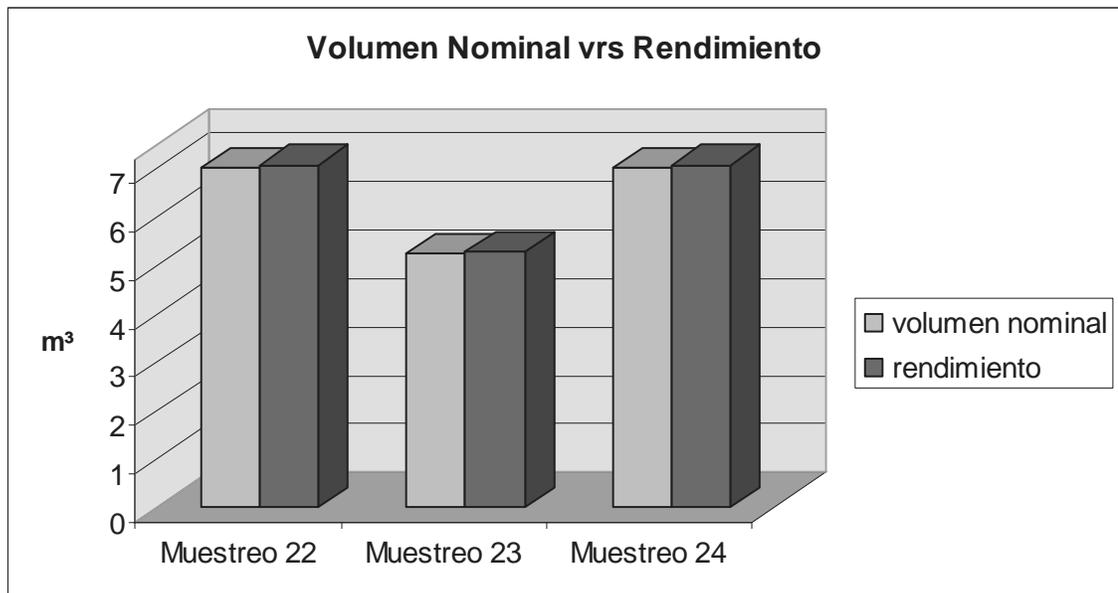
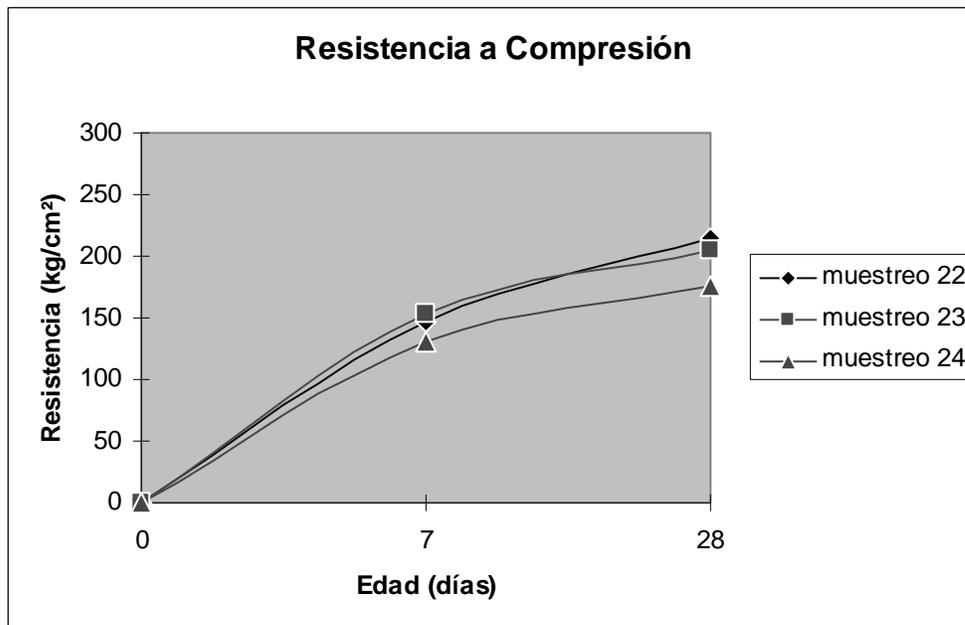


Tabla XXVI. Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (2)

	Muestreo 22	Muestreo 23	Muestreo 24
Camión	5	12	16
Hora salida de planta	10:14	10:24	10:55
Hora de descarga	11:45	12:25	13:05
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2315.0	2335.0	2318.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2290.0	2324.0	2293.0
Rendimiento relativo	1.011	1.005	1.011
Contenido de aire (%)	2.1	1.75	1.95
Temperatura (°C)	29.5	30.5	29.5
Asentamiento (cm)	12.7	14.6	20.3
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	146.5	153.5	130.5
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	214.3	205.3	175.4

Figura 31. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (2)



7.2.2.8 Proyecto vivienda Atlantis (3)

Fecha de muestreo: 17/04/2007

Ubicación: Zona 17, Ciudad Guatemala.

Tipo de Fundición: Losa.

**Tabla XXVII. Resultados evaluación volumen
proyecto vivienda Atlantis (3)**

	Muestreo 25	Muestreo 26	Muestreo 27
Camión	3	16	3
Volumen nominal (m ³)	6.75	7.25	6.75
Peso materiales mezclados (kg)	15795.0	17044.75	15882.75
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2351.0	2353.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2294.0	2329.0	2287.0
Rendimiento (m ³)	6.885	7.318	6.945
Rendimiento relativo	1.020	1.009	1.029

**Figura 32. Gráfica resultados evaluación volumen
proyecto vivienda Atlantis (3)**

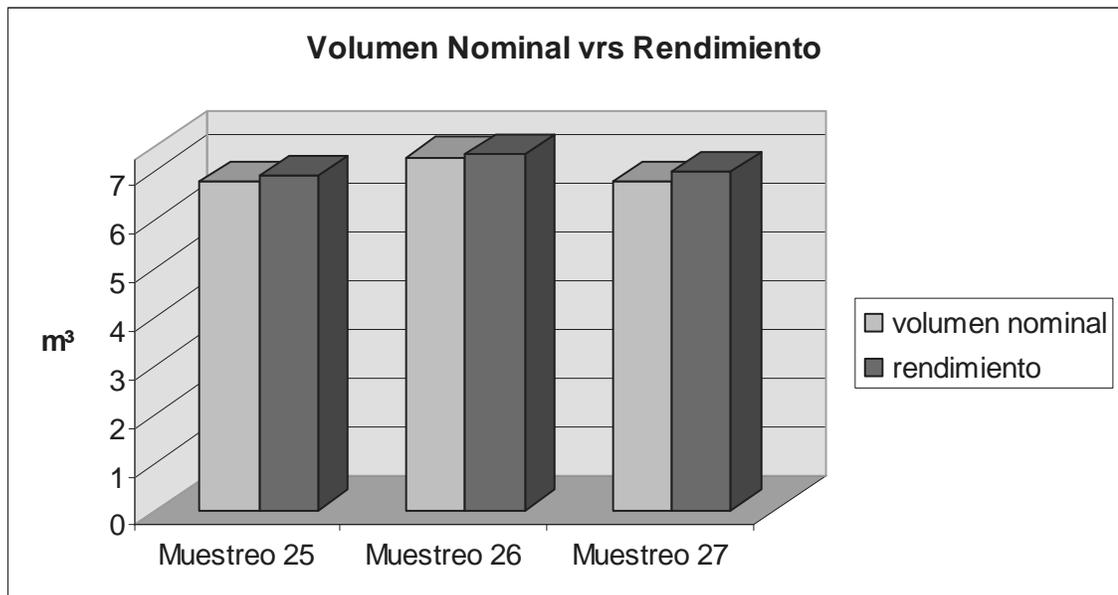
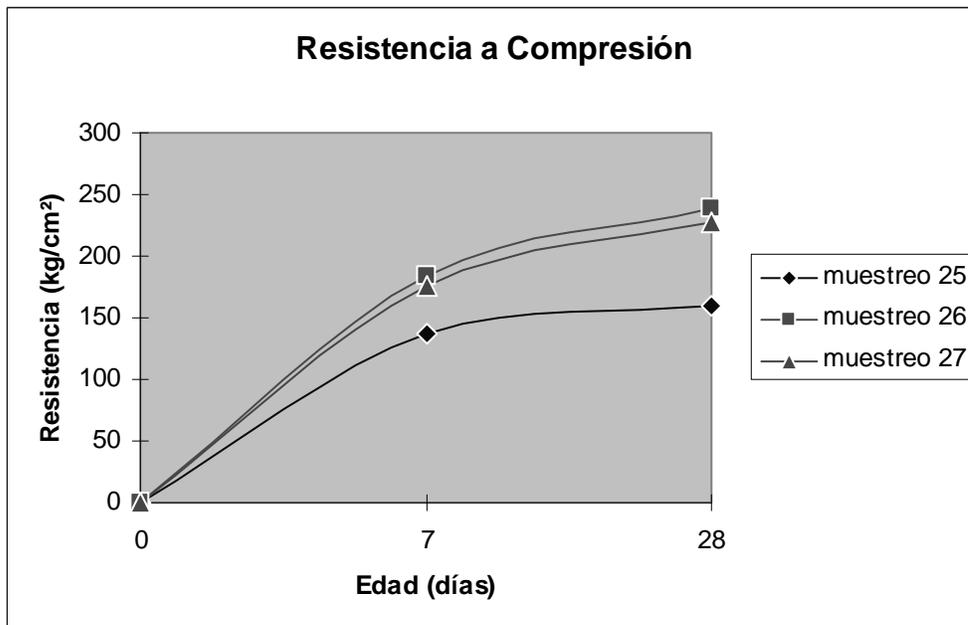


Tabla XXVIII. Resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (3)

	Muestreo 25	Muestreo 26	Muestreo 27
Camión	3	16	3
Hora salida de planta	11:15	11:28	15:02
Hora de descarga	12:45	13:20	16:40
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2340.0	2351.0	2353.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2294.0	2329.0	2287.0
Rendimiento relativo	1.020	1.009	1.029
Contenido de aire (%)	1.6	1.55	1.7
Temperatura (°C)	29.5	30.0	31.5
Asentamiento (cm)	19.1	8.3	11.4
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	136.5	183.9	175.1
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	159.2	238.7	227.9

Figura 33. Gráfica resultados evaluación calidad proyecto vivienda Atlantis (3)



7.2.2.9 Proyecto bodegas Atanasio Tzul

Fecha de muestreo: 11/05/2007

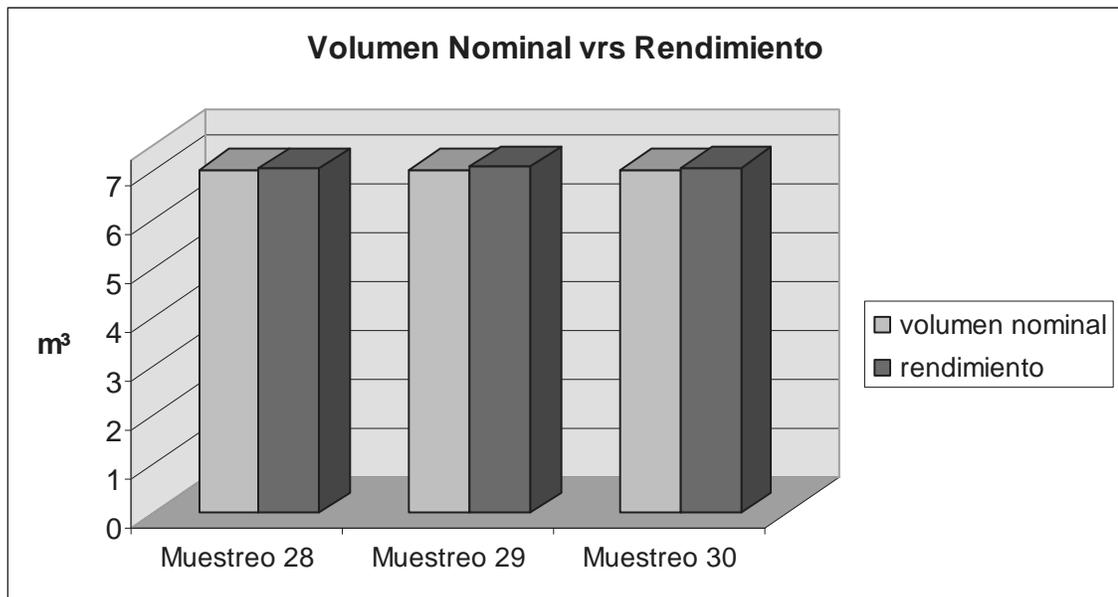
Ubicación: Zona 12, Ciudad Guatemala.

Tipo de Fundición: Pavimento.

**Tabla XXIX. Resultados evaluación volumen
proyecto bodegas Atanasio Tzul**

	Muestreo 28	Muestreo 29	Muestreo 30
Camión	19	19	16
Volumen nominal (m ³)	7.0	7.0	7.0
Peso materiales mezclados (kg)	16240.0	16240.0	16240.0
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2320.0	2320.0	2320.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2308.0	2298.0	2301.0
Rendimiento (m ³)	7.036	7.067	7.058
Rendimiento relativo	1.005	1.010	1.008

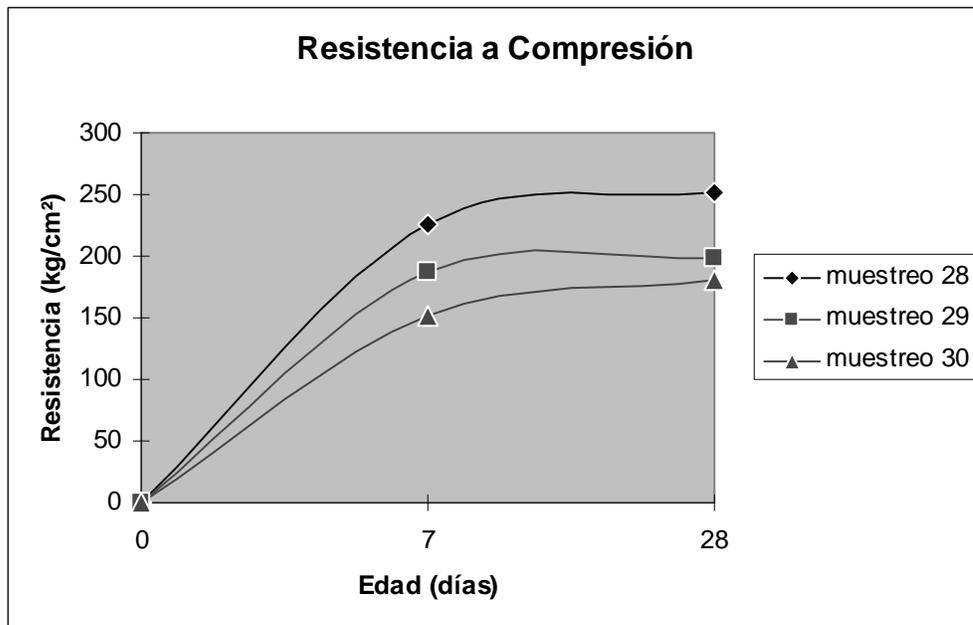
**Figura 34. Gráfica resultados evaluación volumen
proyecto bodegas Atanasio Tzul**



**Tabla XXX. Resultados evaluación calidad
proyecto bodegas Atanasio Tzul**

	Muestreo 28	Muestreo 29	Muestreo 30
Camión	19	19	16
Hora salida de planta	11:58	12:35	13:12
Hora de descarga	12:05	12:40	13:20
Peso unitario en planta (kg/m ³)	2320.0	2320.0	2320.0
Peso unitario en campo (kg/m ³)	2308.0	2298.0	2301.0
Rendimiento relativo	1.005	1.01	1.008
Contenido de aire (%)	2.5	2.7	2.65
Temperatura (°C)	31.0	31.0	30.5
Asentamiento (cm)	10.2	11.4	14.0
Resistencia 7 días (kg/cm ²)	226.3	187.8	151.1
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	251.0	197.6	180.0

**Figura 35. Gráfica resultados evaluación calidad
proyecto bodegas Atanasio Tzul**



7.2.3 Gráficas resultados todos los muestreos

Figura 36. Gráfica rendimiento relativo todos los muestreos

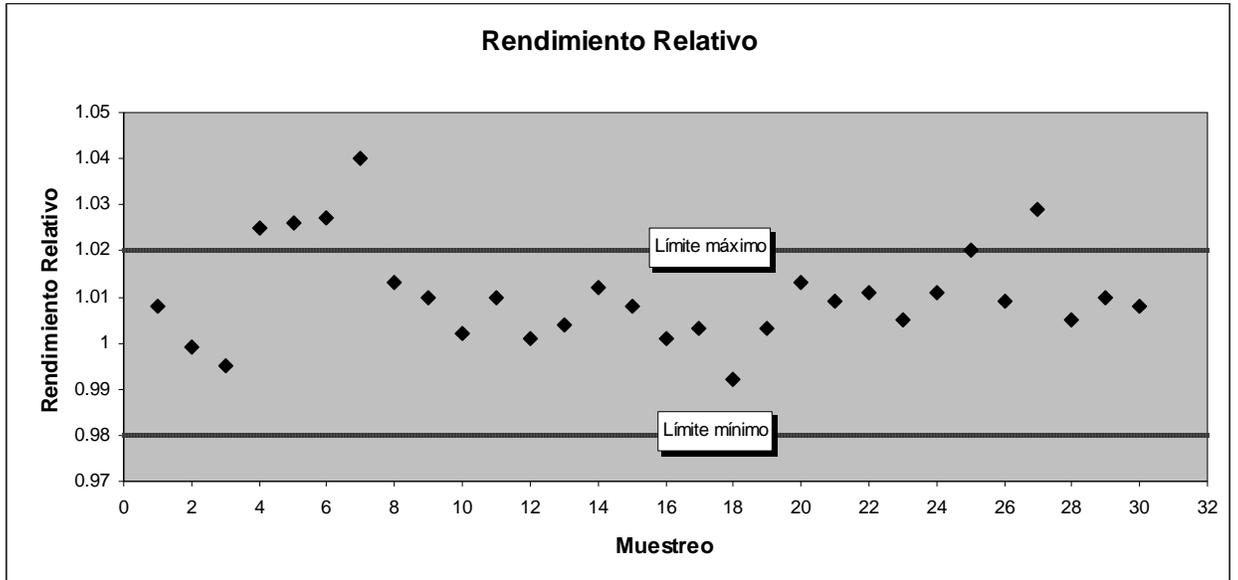


Figura 37. Gráfica contenido de aire todos los muestreos

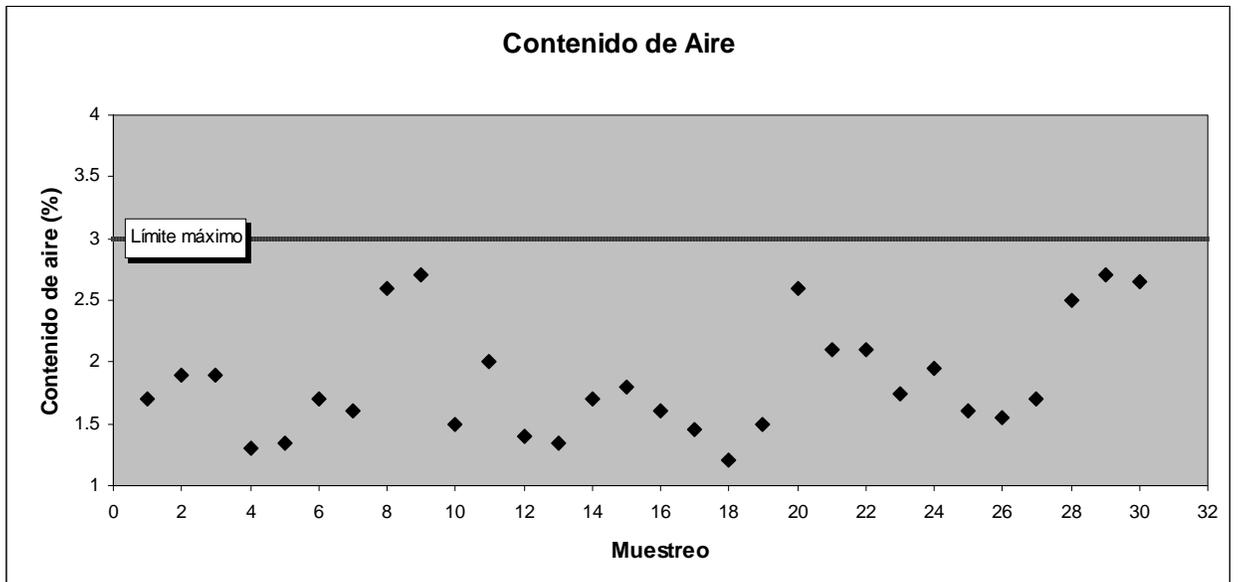


Figura 38. Gráfica temperatura del concreto todos los muestreos

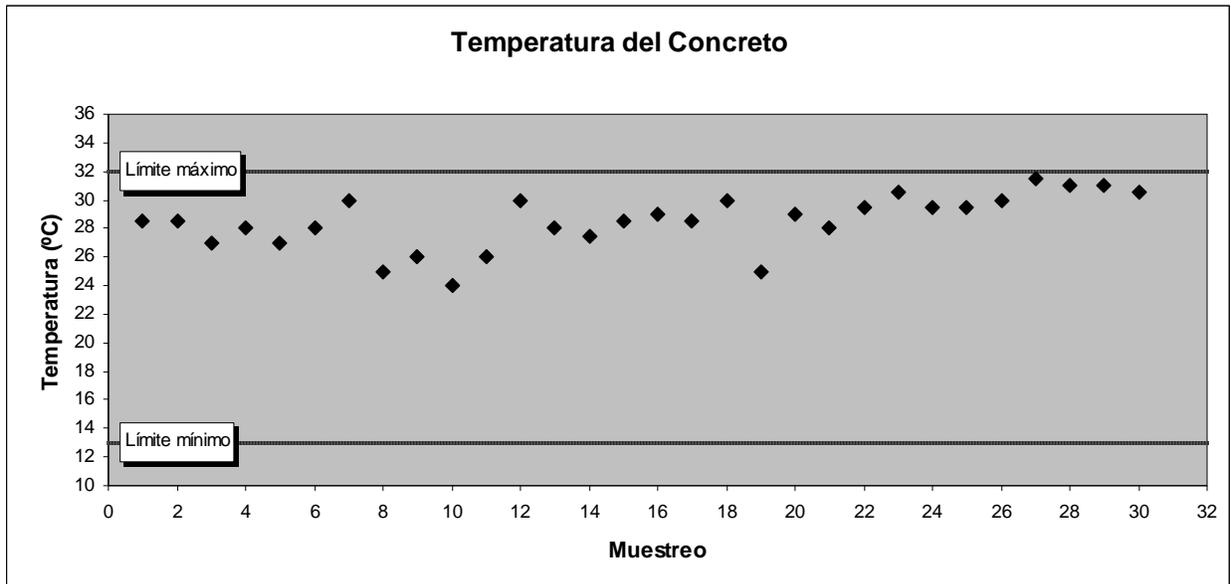
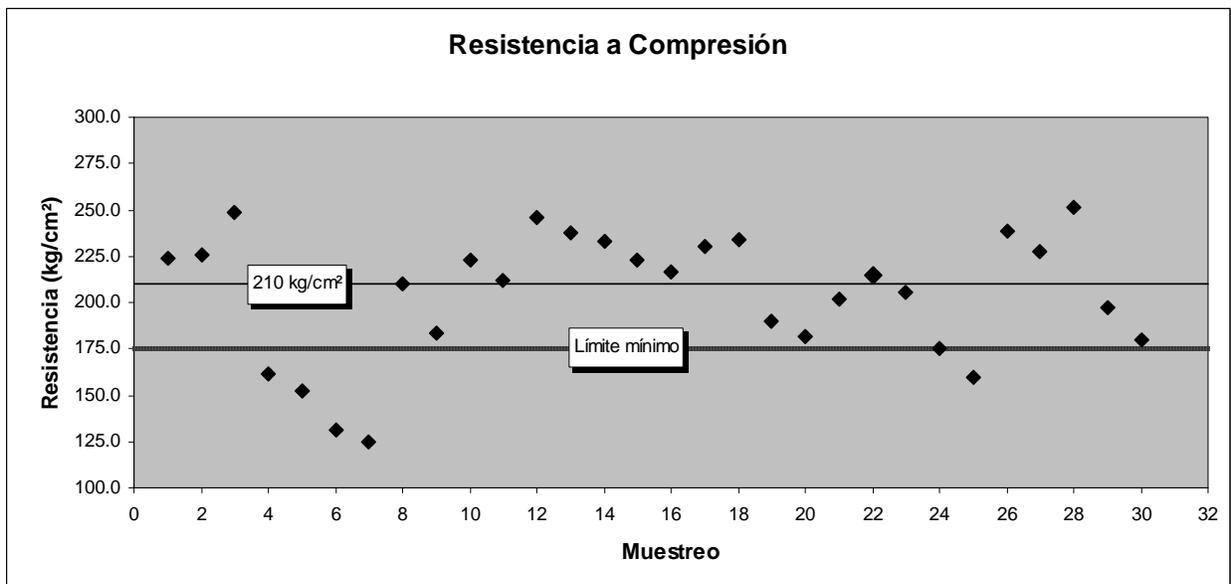


Figura 39. Gráfica resistencia a compresión todos los muestreos



7.2.4 Análisis estadístico de los resultados de resistencia

El análisis estadístico de los resultados de resistencia se hace de acuerdo con lo especificado en el ACI 214 (Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de Ensayos de Resistencia del Concreto).

7.2.4.1 Promedio general

Es la suma aritmética de los resultados de resistencia a la compresión (28 días) de todos los ensayos individuales, dividida entre el número total de ensayos efectuados.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

$n = 30$ muestreos

$X_i =$ Ver tablas de resultados

$$\bar{X} = \mathbf{204.6 \text{ kg/cm}^2}$$

7.2.4.2 Desviación estándar

Es la medida de dispersión más conocida y está definida como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividida entre el número de ensayos (n) menos uno.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [X_i - \bar{X}]^2}{n-1}}$$

$n = 30$ muestreos

$X_i =$ Ver tablas de resultados

$\bar{X} = 204.6$ kg/cm²

$\sigma = 34.15$ kg/cm²

7.2.4.3 Coeficiente de variación

Es la desviación estándar expresada como un porcentaje del promedio general.

$$V = 100 \left(\frac{\sigma}{\bar{X}} \right)$$

Para un conjunto de datos n el coeficiente de variación está dado por:

$$Vn = \frac{V}{\sqrt{n}}$$

$\bar{X} = 204.6$ kg/cm²

$\sigma = 34.15$ kg/cm²

$V = 16.69$

$n = 30$ muestreos

$Vn = 3.04 \%$

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado

8.1.1 Proyecto mercado Amatitlán

Los tres camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XIII, Figuras 18 y 36).

Las mezclas de concreto de los tres muestreos alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 a los 28 días (ver Tabla XIV, Figuras 19 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XIV y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y $32 \text{ }^\circ\text{C}$, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XIV y Figura 38).

8.1.2 Proyecto vivienda Planes de Bárcenas

Los cuatro camiones mezcladores no descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están fuera de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$. Todos los muestreos presentan que se despacho más del volumen requerido (ver Tabla XV, Figuras 20 y 36).

Las mezclas de concreto de los cuatro muestreos no alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 a los 28 días, ni están dentro de un rango de tolerancia de 35 kg/cm^2 por debajo de la resistencia especificada (ver Tabla XVI, Figuras 21 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XVI y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y $32 \text{ }^\circ\text{C}$, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XVI y Figura 38).

8.1.3 Proyecto bodegas Villa Nueva

Los cuatro camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XVII, Figuras 22 y 36).

Las mezclas de concreto de los muestreos 8, 10 y 11 alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días. Sin embargo, a pesar que el muestreo 9 no alcanzó dicha resistencia, está en un rango de tolerancia de 35 kg/cm² (500 psi) por debajo de la resistencia especificada, propuesta por el ACI 318, que considera la resistencia del concreto satisfactoria (ver Tabla XVIII, Figuras 23 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XVIII y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XVIII y Figura 38).

8.1.4 Proyecto vivienda Atlantis (1)

Los cuatro camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XIX, Figuras 24 y 36).

Las mezclas de concreto de los cuatro muestreos alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días (ver Tabla XX, Figuras 25 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XX y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XX y Figura 38).

8.1.5 Proyecto bodegas Mega Planta

Los tres camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XXI, Figuras 26 y 36).

Las mezclas de concreto de los tres muestreos alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días (ver Tabla XXII, Figuras 27 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XXII y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XXII y Figura 38).

8.1.6 Proyecto vivienda San Cristóbal

Los tres camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XXIII, Figuras 28 y 36).

Las mezclas de concreto de los tres muestreos no alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días, sin embargo, están en un rango de tolerancia de 35 kg/cm² (500 psi) por debajo de la resistencia especificada, propuesta por el ACI 318, que considera la resistencia del concreto satisfactoria (ver Tabla XXIV, Figuras 29 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XXIV y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XXIV y Figura 38).

8.1.7 Proyecto vivienda Atlantis (2)

Los tres camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XXV, Figuras 30 y 36).

La mezcla de concreto del muestreo 22 alcanzó la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días. Sin embargo, a pesar que los muestreos 23 y 24 no alcanzaron dicha resistencia, están en un rango de tolerancia de 35 kg/cm² (500 psi) por debajo de la resistencia especificada, propuesta por el ACI 318, que considera la resistencia del concreto satisfactoria (ver Tabla XXVI, Figuras 31 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XXVI y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XXVI y Figura 38).

8.1.8 Proyecto vivienda Atlantis (3)

Los camiones mezcladores de los muestreos 25 y 26 descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$. El muestreo 27 no lo hizo, ya que está fuera de dicha tolerancia (ver Tabla XXVII, Figuras 32 y 36).

Las mezclas de concreto de los muestreos 26 y 27 alcanzaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días. El muestreo 25 no alcanzó dicha resistencia, ni está dentro de un rango de tolerancia de 35 kg/cm² por debajo de la resistencia especificada (ver Tabla XXVIII, Figuras 33 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XXVIII y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XXVIII y Figura 38).

8.1.9 Proyecto bodegas Atanasio Tzul

Los tres camiones mezcladores descargaron un volumen de concreto satisfactorio a lo exigido por el cliente, ya que están dentro de la tolerancia permitida de rendimiento relativo $\pm 2\%$ (ver Tabla XXIX, Figuras 34 y 36).

La mezcla de concreto del muestreo 28 alcanzó la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días. Sin embargo, a pesar que los muestreos 29 y 30 no alcanzaron dicha resistencia, están en un rango de tolerancia de 35 kg/cm² (500 psi) por debajo de la resistencia especificada, propuesta por el ACI 318, que considera la resistencia del concreto satisfactoria (ver Tabla XXX, Figuras 35 y 39).

El contenido de aire de las mezclas de concreto no excede el parámetro máximo normal de 3% de aire, en concreto sin aire incluido (ver Tabla XXX y Figura 37).

La temperatura de los concretos está dentro de los límites permitidos entre 13 y 32 °C, lo que no afecta las propiedades del concreto (ver Tabla XXX y Figura 38).

8.2 Análisis de resultados estadísticos

8.2.1 Promedio General

El promedio general de los resultados de resistencia es 204.6 kg/cm² (2911.5 psi), con lo que se puede concluir que la mayoría de muestreos son favorables al cliente por su resistencia satisfactoria.

8.2.2 Desviación Estándar

La desviación estándar para los resultados de resistencia es 34.15 kg/cm², este parámetro indica una variabilidad en la producción de concreto muy buena, ya que se encuentra en el intervalo de 28.1 a 35.2 kg/cm² (ver Tabla XXXI).

La evaluación de control de calidad del concreto mediante la desviación estándar de los resultados de ensayos de resistencia a compresión, muestra que se produce un concreto homogéneo con poca variabilidad en las resistencias a compresión.

Tabla XXXI. Normas para el control del concreto (desviación estándar)

PRODUCCIÓN GENERAL					
Clase de operación	Desviación Estándar para diferentes grados de control, psi (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Ensayos de control en campo	Menor de 400 (menor 28.1)	400 a 500 (28.1 a 35.2)	500 a 600 (35.2 a 42.2)	600 a 700 (42.2 a 49.2)	Mayor de 700 (mayor a 49.2)

Fuente: ACI 214 "Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de Ensayos de Resistencia del Concreto". Pág. 7

8.2.3 Coeficiente de Variación

El resultado de coeficiente de variación es 3.04 %, este parámetro indica una variabilidad en la producción general de concreto excelente, ya que se encuentra en el intervalo de menor a 10% (ver Tabla XXXII).

La evaluación de control de calidad del concreto mediante el coeficiente de variación de los resultados de ensayos de resistencia a compresión, muestra que se produce un concreto homogéneo con poca variabilidad en las resistencias a compresión.

Tabla XXXII. Normas para el control del concreto (coeficiente de variación)

PRODUCCIÓN GENERAL					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes grados de control, porcentaje (%)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Ensayos de control en campo	Menor a 10	-	10 a 15	15 a 20	Mayor 20

Fuente: ACI 214 “Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de Ensayos de Resistencia del Concreto”. Pág. 7

CONCLUSIONES

1. La mayoría de los rendimientos de concreto premezclado evaluados, indica que se despachan volúmenes de mezcla satisfactorios a lo exigido por el cliente.
2. La mayoría de los resultados de resistencia a compresión, demuestra que se despacha concreto premezclado con resistencia satisfactoria a lo exigido por el cliente.
3. La variación de resistencias a compresión entre los muestreos, radica en el asentamiento de cada mezcla debido al incremento de relación agua-cemento, causado por la adición de agua en el remezclado del concreto.
4. El contenido de aire en las mezclas de concreto de los muestreos realizados está dentro de los límites de tolerancia, para concretos sin aire incluido.
5. La temperatura de las mezclas de concreto de todos los muestreos realizados no excede el límite máximo, por lo que no afecta las propiedades del concreto.
6. Los resultados del análisis estadístico de las resistencias a compresión indican que se produce un concreto homogéneo y con resistencia satisfactoria.

7. El excedente en el tiempo de entrega del concreto premezclado, debido a las condiciones de distancia y tráfico vehicular en el trayecto a la obra, no afecta las propiedades de diseño si se utiliza un aditivo fluidificante y retardante, medido de acuerdo a sus características y condiciones.

RECOMENDACIONES

1. El volumen y la calidad del concreto premezclado entregado en obra, deben ser evaluados de acuerdo con los procedimientos especificados en la norma ASTM C-94.
2. La divulgación de la norma ASTM C-94 debe ser responsabilidad de los entes que rigen lo relacionado con la ejecución de proyectos que utilizan el concreto premezclado tales como: la Cámara Guatemalteca de la Construcción, Colegio de Ingenieros, Colegio de Arquitectos, empresas productoras, entre otros.
3. Realizar los muestreos, ensayos de asentamiento, temperatura, contenido de aire, peso unitario y elaboración de cilindros, bajo las especificaciones de las normas ASTM o su equivalente.
4. En los resultados de resistencia a compresión de los cilindros de concreto, que estén fuera del rango de tolerancia por debajo de la resistencia especificada, se sugiere su evaluación de acuerdo a lo especificado por el ACI 318, realizando el ensayo de martillo de rebote, ensayo de resistencia a la penetración o ensayo de extracción de núcleos, para garantizar que no se pone en peligro la capacidad de carga de la estructura.

5. Verificar que el agua para el remezclado del concreto en la obra sea utilizada en la menor cantidad posible para no afectar la resistencia del concreto aumentando la relación agua-cemento. Asimismo que se utilice el aditivo correcto para que el concreto tenga un estado plástico adecuado para su colocación.

6. A las empresas productoras de concreto, identificar rutas y horarios críticos para planificar la entrega de concreto premezclado en condiciones óptimas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Asociación de Productores de Hormigón Premezclado de Puerto Rico.** <http://www.hormigonerospr.org/educacion.htm> (abril/2007)
2. ASTM *Book of Standards*. **Práctica normalizada para la elaboración y curado en el campo de especímenes de prueba de concreto.** USA: ASTM C 31/C 31M-00 Vol. 04.02 2000.
3. ASTM *Book of Standards*. **Especificaciones estándar para concreto premezclado.** USA: ASTM C 94/C 94M-00 Vol. 04.02 2000.
4. ASTM *Book of Standards*. **Método estándar de prueba para peso específico, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.** USA: ASTM C 138/C 138M-01 Vol. 04.02 2001.
5. ASTM *Book of Standards*. **Método de prueba estándar para revenimiento de concreto de cemento hidráulico.** USA: ASTM C 143/C 143M-00 Vol. 04.02 2000.
6. ASTM *Book of Standards*. **Práctica estándar para el muestreo de mezclas de concreto fresco.** USA: ASTM C 172-99 Vol. 04.02 1999.
7. ASTM *Book of Standards*. **Método estándar de ensayo para determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método de presión.** USA: ASTM C 231-97 Vol. 04.02 1997.
8. Comité ACI 214. **Práctica recomendada para la evaluación de los resultados de ensayos de resistencia del concreto (214-77).** USA: *American Concrete Institute*, 1997. 14 pp.

9. Comisión de diseño estructural en hormigón armado y albañilerías. **Código de diseño de hormigón armado ACI 318**. Chile: ACI, 2000. 576 pp.
10. Comité de Programas de Certificación del ACI. **Técnico para pruebas al concreto en la obra**. 18ª ed. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2001. 33 pp.
11. **Concretos para la edificación**.
<http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/>
12. Constaín Van-Reck, César. **Tecnología del concreto premezclado**. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
<http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/tecno1.htm>
(noviembre/1999)
13. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Conceptos básicos del concreto**. México: IMCYC, 2004. 8 pp.
14. Kosmatka, Steven H. y William C. Panarese. **Diseño y control de mezclas de concreto**. 1ª ed. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992. 230 pp.
15. McMillan, F. R. y Lewis H. Tuthill. **Cartilla del concreto**. 4ª ed. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2000. 46 pp.
16. *National Ready Mixed Concrete Association*. **El concreto en la práctica: discrepancias con el rendimiento**. USA: NRMCA, 1998. 2 pp.
17. *National Ready Mixed Concrete Association*. **El concreto en la práctica: ordenes de concreto premezclado**. USA: NRMCA, 1998. 2 pp.

18. *National Ready Mixed Concrete Association*. **El concreto en la práctica: preparación de cilindros de concreto en campo**. USA: NRMCA, 1998. 2 pp.

19. *National Ready Mixed Concrete Association*. **Certification of ready mixed concrete production facilities**. 9ª ed. USA: NRMCA, 2006. 23 pp.

20. Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero**. 5ª ed. Colombia: Bhadar Editores, 2001. 349 pp.

ANEXOS

Anexo I. Constancia de evaluación Duracreto



CONSTANCIA

Por este medio se hace constar que SERGIO ARMANDO IRUNGARAY SIERRA estudiante de pre-grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó en la empresa Duracreto, durante el período comprendido de febrero a mayo del 2007, la evaluación de volumen y calidad de concreto premezclado entregado en obra.

Dicha evaluación la realizó con el apoyo del equipo de producción, control de calidad y personal asignado, para el desarrollo de su trabajo de graduación con título "EVALUACIÓN DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO ENTREGADO EN OBRA POR CAMIONES MEZCLADORES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, SEGÚN LA NORMA ASTM C-94".

Se extiende la presente en el municipio San Miguel Petapa, en el departamento de Guatemala a los dieciocho días del mes de junio del año dos mil siete.


Ingeniero Amilcar Bances
Gerente de Operaciones
Duracreto


Lote 14 Caserío El Frutal Zona 8
San Miguel Petapa
Tels.: 6659-7288, 5703-5596

Lote 14 El Frutal, Zona 8, San Miguel Petapa. Guatemala, Guatemala
PBX. 6659-7258, FAX 7758-6179
info@duracreto.com