

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Desgaste abrasivo de cuatro agregados nacionales  
y su relación con la resistencia a compresión de  
un concreto de mediana resistencia**

Informe de Trabajo de Graduación  
para obtener el grado de Licenciatura  
en Ingeniería Civil

Preparado por:  
*Sara Josseline Gómez Chávez*

AGOSTO DE 2005

Gómez Chávez, Sara

**Desgaste abrasivo de cuatro agregados gruesos nacionales y su relación con la resistencia a compresión de un concreto de mediana resistencia.**

Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil - , San José, C.R.:

**S. Gómez C., 2005**

192 h: ils – 54 refs.

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación incluye dos aspectos principales: el primero, que es el objetivo central del proyecto, se refiere al análisis de las características de cuatro agregados gruesos provenientes de tajo y su influencia sobre la resistencia a compresión de un concreto de más de  $350 \text{ kg/cm}^2$ ; el segundo es elaborar un documento con base en los proyectos de graduación de la Universidad de Costa Rica y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en donde se condensa las características físicas de agregados (arena y piedra) y cementos utilizados en Costa Rica, así como propiedades de los diseños de mezcla y resistencias en diferentes edades de los concretos producidos con ellos

Para completar el objetivo principal, haciendo uso de las normas ASTM, se logró determinar las características físicas y mecánicas de los agregados gruesos: granulometría, gravedad específica, peso unitario, cantidad de partículas friables y resistencia al desgaste abrasivo. Utilizando la metodología de ACI-211, con cada tipo de piedra se hizo un diseño teórico de un concreto de  $360 \text{ kg/cm}^2$  y se elaboraron, para cada caso, treinta cilindros de  $30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ , que se fallaron a 3, 7, 28 y 56 días.

Con base en los resultados, fue posible determinar que, para el concreto fabricado a partir del diseño teórico, los valores de resistencia a compresión no están claramente relacionados con la capacidad al desgaste abrasivo de los agregados utilizados. En cambio, la capacidad a resistir abrasión de los agregados está relacionada con la forma en que fallan los cilindros de prueba. Así, los concretos elaborados con agregados de mayor porcentaje de abrasión, presentan una falla más destructiva y plana, atravesando, por igual, agregado grueso y pasta.

**AGREGADO; DESGASTE ABRASIVO, CONCRETO; CEMENTO; TENACIDAD**

ing. Flor Muñoz Umaña  
Escuela de Ingeniería Civil

## Agradecimiento

*Dios. gracias por permitirme terminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida, por darme dirección, paciencia y fe en todo momento. Gracias a mi familia, en especial a mami y Harold.*

Deseo dar las sinceras gracias a cada una de las personas que, directamente o indirectamente, han contribuido con el desarrollo de este Proyecto:

A la Ing. Flor Muñoz Umaña, directora de este Proyecto, quien me guió para cumplir provechosamente con este trabajo y me incentivó para investigar más. Al Ing. Alejandro Navas Carro, asesor, por brindarme consejos serios y prácticos para la realización correcta del Proyecto. También, al Ing. Roy Bogantes por su aporte desinteresado.

A la empresa Holcim, que siempre tuvo la disposición de donar material para la realización de esta investigación, en especial a Ing. Manrique Arrea e Ing. Karla Jiménez (cemento), Ing. Luis Cerdas e Ing. Cinthia Chacón (Quebrador Cerrominas) y al Ing. Jesús Castro (Quebrador Ochomogo).

Al Quebrador Las Cóncavas, a través del Ing. Pedro Castro, por facilitar material necesario para desarrollar el Proyecto.

Al Quebrador San Miguel, a través del Sr. Luis Segura, por contribuir con material para la realización de la investigación.

También quiero dar gracias al personal técnico del Lanamme porque sin sus valiosos consejos y su gran colaboración no hubiera podido completar de manera expedita, los experimentos. De manera franca, agradezco al Sr. A. Barquero por sus oraciones y su ayuda.

Finalmente, deseo agradecer a los amigos y compañeros, quienes, sin duda alguna, fueron los que estuvieron hombro a hombro y paso a paso en cada una de las actividades de este Proyecto echándome una mano: Kattia Sánchez, Kattia Castro, Mipsy Loría, Sofía Chaves, Silvia Masís, Gustavo Badilla, Luis Cordero, Jorge Hidalgo y Mauricio Moya.

No me puedo olvidar de mis amigas del alma: Marce, Eu, Kate, Hey, quienes me apoyan en todo momento.

## **Comité Asesor**

*Directora:* Ing. Flor Muñoz Umaña

*Asesor:* Ing. Alejandro Navas Carro MSc.

*Asesor:* Ing. Roy Bogantes

# Índice

<b>Capítulo 1</b>	
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Alcances.....	5
1.5 Limitaciones.....	6
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Componentes del concreto .....</b>	<b>8</b>
2.1 Agregado grueso (piedra) .....	9
2.1.1. Tamaño del agregado.....	11
2.1.2. Granulometría.....	12
2.1.3. Resistencia al desgaste.....	12
2.1.4. Peso unitario.....	14
2.1.5. Peso específico.....	14
2.1.6. Porosidad y absorción.....	15
2.1.7. Forma y textura superficial.....	15
2.1.8. Materiales contaminantes.....	16
2.1.9. Partículas friables.....	16
2.2 Agregado fino (arena) .....	17
2.2.1. Granulometría y módulo de finura.....	18
2.2.2. Materiales contaminantes.....	18
2.3 Agua.....	19
2.4 Cemento.....	19
2.4.1 Densidad del cemento.....	21
2.4.2 Finura.....	21
2.4.3 Consistencia normal.....	22
2.4.4 Tiempo de fraguado.....	22
2.4.5 Compresión del cemento.....	22
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Factores que inciden en la calidad del concreto .....</b>	<b>24</b>
3.1 Concreto fresco.....	24
3.1.1 Requerimiento de agua.....	25
3.1.2 Trabajabilidad y consistencia.....	25
3.1.3 Segregación y sangrado.....	27
3.1.4 Contracción plástica.....	28
3.1.5 Tiempo de fraguado.....	28

3.2 Concreto endurecido.....	29
3.2.1 Resistencia a la compresión.....	29
3.2.2 Durabilidad.....	31
3.2.3 Resistencia al desgaste.....	32
3.2.4 Módulo de elasticidad.....	32
3.2.5 Densidad .....	33
3.2.6 Módulo de rotura .....	33
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Descripción del trabajo experimental .....</b>	<b>35</b>
4.1 Elección de las fuentes de agregados.....	35
4.2 Descripción de los agregados .....	36
4.2.1 Agregado del Quebrador Cerro Minas.....	36
4.2.2 Agregado del Quebrador Las Cóncavas.....	38
4.2.3 Agregado del Quebrador Ochomogo.....	40
4.2.4 Agregado del Quebrador San Miguel.....	41
4.2.5 Agregado fino tipo Guápiles.....	42
4.3 Cemento y agua utilizados.....	43
4.4 Procedimiento seguido para desarrollar el proyecto.....	44
4.4.1 Almacenamiento del material.....	44
4.4.2 Selección del material para pruebas.....	45
4.4.3 Pruebas de caracterización de materiales.....	45
4.4.4 Elaboración de mezcla de concreto.....	46
4.4.5 Falla de cilindros y vigas.....	49
4.4.6 Elaboración de base de datos.....	49
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>51</b>
5.1 Agregado grueso .....	51
5.1.1 Porcentaje de finos pasando la malla #200 .....	51
5.1.2 Granulometría.....	52
5.1.3 Gravedad específica y absorción.....	53
5.1.4 Tenacidad y abrasión.....	54
5.1.5 Peso unitario.....	56
5.1.6 Contenido de partículas friables.....	57
5.1.7 Resumen de características agregados gruesos..	59
5.2 Agregado fino .....	59
5.3 Cemento.....	60
5.4 Concreto.....	61
5.4.1 Diseño de mezcla .....	61
5.4.2 Resistencia a compresión.....	63

5.4.3	Otras características del concreto .....	68
<b>Capítulo 6</b>		
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>		<b>70</b>
6.1	Conclusiones.....	70
6.2	Recomendaciones.....	73
<b>Bibliografía.....</b>		<b>75</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>80</b>
No. 1:	Esquema seguido para desarrollar el proyecto.....	81
No. 2:	Equipo utilizado para la realización de las pruebas.....	82
No. 3:	Normas ASTM utilizadas en el Proyecto.....	84
No. 4:	Características de agregados .....	85
	Cerrominas.....	86
	Cóncavas.....	89
	Ochomogo.....	92
	Polvorón.....	95
	Arena Guápiles.....	98
No. 5:	Características del cemento .....	101
No. 6:	Diseños de mezcla.....	105
	Ejemplo de cálculo.....	106
	Cerro Minas.....	109
	Cóncavas.....	110
	Ochomogo.....	111
	Polvorón.....	112
No. 7:	Propiedades de los concretos.....	113
	Cerrominas.....	114
	Cóncavas.....	116
	Ochomogo.....	118
	Polvorón.....	120
No. 8:	Características físicas y mecánicas de agregados (gruesos y finos) y cemento, diseños de mezcla y resistencias a compresión de especímenes cilíndricos según fuente bibliográfica consultada.	122

# Índice de Figuras

<b>Figura No. 2.1:</b> Los principales componentes del concreto .....	8
<b>Figura No. 2.2:</b> Ejemplo de agregado grueso .....	9
<b>Figura No. 2.3:</b> Ejemplo de arena .....	17
<b>Figura No. 3.1:</b> Concreto fresco .....	24
<b>Figura No. 3.2:</b> Esquema de diferentes formas de revenimiento ...	26
<b>Figura No. 3.3:</b> Concreto endurecido .....	29
<b>Figura No. 4.1:</b> Ubicación de las fuentes de agregados escogidas	36
<b>Figura No. 4.2:</b> Agregado grueso tipo Cerro Minas .....	37
<b>Figura No. 4.3:</b> Sección delgada para agregado Cerro Minas .....	37
<b>Figura No. 4.4:</b> Agregado grueso tipo Las Cóncavas .....	39
<b>Figura No. 4.5:</b> Sección delgada para agregado Las Cóncavas ...	39
<b>Figura No. 4.6:</b> Agregado grueso tipo Ochomogo .....	40
<b>Figura No. 4.7:</b> Sección delgada para agregado Ochomogo .....	40
<b>Figura No. 4.8:</b> Agregado grueso tipo El Polvorón .....	42
<b>Figura No. 4.9:</b> Sección delgada para agregado Polvorón .....	42
<b>Figura No. 4.10:</b> Agregado fino tipo Guápiles .....	43
<b>Figura No. 4.11:</b> Cemento utilizado en el Proyecto .....	43
<b>Figura No. 4.12:</b> Almacenamiento de agregados gruesos .....	44
<b>Figura No. 4.13:</b> Curado de la batidora .....	47
<b>Figura No. 4.14:</b> Ejemplo de prueba de revenimiento .....	48
<b>Figura No. 4.15:</b> Proceso de capeo de cilindros .....	49
<b>Figura No. 5.1:</b> Falla de cilindros con agregado de Ochomogo ....	66

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico No. 5.1:</b> Porcentaje de finos según el tipo de agregado ...	51
<b>Gráfico No. 5.2:</b> Valores de gravedad específica obtenidos según procedencia del agregado .....	53
<b>Gráfico No. 5.3:</b> Valores de porcentaje de absorción obtenidos según procedencia del agregado .....	53
<b>Gráfico No. 5.4:</b> Porcentaje de tenacidad y abrasión según la procedencia del agregado .....	54
<b>Gráfico No. 5.5:</b> Porcentaje de desgaste contra el número de revoluciones dadas en Máquina Los Ángeles para cada tipo de agregado .....	55
<b>Gráfico No. 5.6:</b> Curva granulométrica remanente después del proceso de abrasión .....	56
<b>Gráfico No. 5.7:</b> Relación entre abrasión y absorción de agregados estudiados .....	56
<b>Gráfico No. 5.8:</b> Valores de peso unitario suelto y peso unitario envarillado según tipo de agregado .....	57
<b>Gráfico No. 5.9:</b> Porcentaje de partículas friables según procedencia del agregado .....	58
<b>Gráfico No. 5.10:</b> Resistencia de mortero estándar (MPa) en función de edad (días) .....	61
<b>Gráfico No. 5.11:</b> Curva de desarrollo de resistencia: Cerro Minas .....	64
<b>Gráfico No. 5.12:</b> Curva de desarrollo de resistencia: Cóncavas ..	64
<b>Gráfico No. 5.13:</b> Curva de desarrollo de resistencia: Ochomogo	65
<b>Gráfico No. 5.14:</b> Curva de desarrollo de resistencia: Polvorón ...	65
<b>Gráfico No. 5.15:</b> Relación entre resistencia de concretos y capacidad al desgaste del agregado grueso .....	67
<b>Gráfico No. 5.16:</b> Módulos de ruptura para los concretos fabricados con agregados indicados .....	69

## Índice de Tablas

<b>Tabla No. 2.1:</b> Tamaños máximos de agregados y sobretamaños permisibles .....	11
<b>Tabla No. 2.2:</b> Clasificación de arenas según MF .....	18
<b>Tabla No. 2.3:</b> Especificación para tiempo de fraguado con aparato de Vicat para cemento hidráulico tipo I MP .....	22
<b>Tabla No. 2.4:</b> Especificación para resistencia a compresión mínima para cemento hidráulico tipo I MP, según edades ....	23
<b>Tabla No. 5.1:</b> Resumen de propiedades de agregados gruesos analizados .....	59
<b>Tabla No. 5.2:</b> Características de las mezclas realizadas ....	62
<b>Tabla No. 5.3:</b> Resistencia a compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ) de cilindros de prueba según la edad del cilindro y la procedencia del agregado grueso usado .....	63
<b>Tabla No. 5.4:</b> Porcentaje de abrasión y resistencia a compresión a 28 y 56 días para concreto elaborado con los agregados gruesos indicados .....	67
<b>Tabla No. 5.5:</b> Módulos de rotura y elasticidad y peso unitario del concreto según procedencia del agregado grueso utilizado .....	68



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Generalidades

La calidad de los agregados (arena y piedra) que se utilizan en la fabricación de un concreto se valora llevando a cabo una serie de pruebas estándares. Una de las pruebas tradicionalmente más importantes para evaluar la aptitud de un agregado grueso es la de abrasión en la máquina Los Ángeles (norma ASTM C-131-03), la cual mide cuánto se desgasta el agregado cuando éste es sometido a la acción de esferas de acero dentro de un tambor rotatorio. Para este ensayo, las normas estándares internacionales especifican que el límite de aceptación de desgaste es 50% para agregados gruesos utilizados en concretos de uso normal y 40% para aquellos que forman parte de concretos sometidos a mayor desgaste abrasivo.

Sin embargo, la prueba no discrimina en función de qué tan enérgico es el grado de abrasión al que se someterá un concreto. Por ejemplo, no puede ser el mismo requerimiento para un grado de abrasión de ligero a mediano, como es el caso de pisos y pavimentos expuestos al tránsito de personas, vehículos de todo tipo con ruedas de hule o vehículos livianos con ruedas metálicas usados en áreas de maniobras ligeras; que, cuando se trata de abrasiones más severas (enérgicas y muy enérgicas) en las que la duración de los pisos o pavimentos hechos con concreto convencional ha mostrado ser bastante limitada. En abrasiones enérgicas y muy enérgicas ya no interviene solo el desgaste sino también fuerzas que destruyen el concreto por impacto y desgarramiento.

“Cuando las condiciones de exposición a la abrasión de la estructura son particularmente enérgicas, deben establecerse criterios de aceptación más estrictos para la selección de los agregados por este concepto” <sup>(32)</sup>. Asimismo, debe restringirse la cantidad de finos pasando la malla de 75 micras, según la norma ASTM C33.

Se ha considerado que la resistencia mecánica del concreto a compresión puede ser un índice de su resistencia potencial a la abrasión, pero esto es cierto cuando las acciones abrasivas son de moderada intensidad. Cuando las acciones son más enérgicas, la capa superficial de pasta y mortero es eliminada con prontitud y es aquí



donde cobra especial importancia la calidad mecánica del agregado grueso y su interacción con la pasta de cemento; en estos casos ya no es tan definida la relación entre la resistencia del concreto a la abrasión y su resistencia a la compresión.

Entonces, la prueba de abrasión en máquina Los Ángeles, por lo menos en cuanto a los límites aceptables, no tiene gran sentido práctico ya que cuando se toma en cuenta el tipo e intensidad de las acciones abrasivas, se debe recurrir a otros métodos de prueba como ASTM C-418: Chorro de arena a compresión y ASTM C-779 (A, B o C): *discos giratorios, rodets desbastadores o balines de rodamiento*, respectivamente.

El problema en el campo de la ingeniería es el cómo se emplea el resultado de la prueba de abrasión para inferir sobre la calidad mecánica de un agregado grueso. Por ejemplo, una toba volcánica que presenta un desgaste abrasivo en máquina Los Ángeles muy por debajo del 40%, como cumple con el requisito establecido, da pie a considerarla como apropiada para la producción de concretos de buena calidad mecánica.

Por lo tanto, es necesario valorar la calidad mecánica de los agregados nacionales y relacionarlos con la resistencia a la compresión y ruptura del concreto para poder llegar a establecer hasta donde son mecánicamente apropiados y relacionar el valor de prueba que suministra el ensayo en máquina Los Ángeles.

Dada la influencia que tienen las características físicas y mecánicas del agregado grueso sobre la resistencia de concretos con  $f_c$  mayor que  $350 \text{ kg/cm}^2$ , la viabilidad de producir concretos de mediana resistencia (CMR) en Costa Rica y su posible aplicación en obras civiles y los planteamientos expuestos en investigaciones nacionales respecto del uso de la prueba de abrasión como indicador de la calidad del CMR, resulta necesario hacer el análisis que relacione la capacidad al desgaste de los agregados gruesos nacionales con la resistencia del CMR.

Para el proyecto, se establece que los concretos de baja resistencia (CBR) son aquellos que exhiben resistencias menores que  $350 \text{ kg/cm}^2$ , los concretos de mediana resistencia son aquellos que poseen resistencias entre los  $350 \text{ kg/cm}^2$  y  $700 \text{ kg/cm}^2$  y los concretos de alta resistencia (CAR) se definen como aquellos concretos con resistencias superiores a los  $700 \text{ kg/cm}^2$  <sup>(32)</sup>.



## 1.2 Antecedentes

Existen proyectos de graduación en el área de Ingeniería Civil que aportan información valiosa en cuanto al estudio de los aspectos que influyen en la resistencia a compresión de un concreto. Ellos se enfocan en el estudio de la viabilidad de producción de CMR en Costa Rica, o bien, en la caracterización física y mecánica de agregados de fuentes nacionales.

Ulate (2001) y De Mézerville (2000), en proyectos de igual nombre "Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en mezclas de concreto" categorizan el agregado grueso proveniente de ocho fuentes nacionales (de río o tajo) sobre el concreto de baja resistencia. Se concluye que en ese caso, lo determinante es la calidad de la pasta y no la resistencia mecánica –determinada por prueba de abrasión– de los agregados. Más bien, los agregados gruesos sí influyen en la calidad del concreto de acuerdo con su forma y textura.

Tanto Alfaro (1984), en "Influencia del agregado grueso en la producción de concretos de mediana resistencia", como Meseguer (1987), en "Producción de concretos de mediana resistencia en Costa Rica", aseguran la viabilidad de producción de CMR en Costa Rica y analizan la influencia de las propiedades del agregado grueso nacional en la resistencia del concreto. Ambos concuerdan en que la resistencia a la abrasión, por medio de la prueba establecida en la norma ASTM C131-81, es la prueba de calidad que puede ser utilizada en la escogencia del agregado para producir concretos de mediana resistencia. A la vez, Meseguer recomienda que el porcentaje de desgaste no debe exceder el 25%. En el proyecto de Alfaro, con base en resultados experimentales, se manifiesta que existe cierta relación entre el porcentaje de desgaste de un agregado y la resistencia a la compresión de un concreto hecho con él; en términos generales, a mayor desgaste del agregado menor resistencia a la compresión.

A nivel internacional, continuamente, se desarrollan proyectos ya sea para ahondar en las características adecuadas de los agregados o para verificar o determinar la influencia de los diferentes componentes sobre el concreto. Por ejemplo, el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto ha realizado estudios profundos sobre la capacidad al desgaste de los agregados <sup>(48)</sup>. Otros investigadores han buscado relacionar las propiedades del agregado con la calidad de los concretos producidos para relaciones A/C bajas <sup>(41)</sup>.



## 1.3 Objetivos

### Objetivo general

Determinar la relación existente entre la capacidad al desgaste de cuatro tipos de agregados gruesos nacionales y la resistencia a la compresión un concreto de mediana resistencia.

### Objetivos específicos

- ✱ Recopilar información que se ha obtenido en otros proyectos de investigación realizados, con el fin de condensar en un solo documento la información referente a agregados nacionales y características del concreto producido.
- ✱ Ubicar geográficamente las fuentes de agregados gruesos seleccionadas y, a partir de la información existente, realizar una caracterización de cada fuente.
- ✱ Caracterizar los agregados gruesos provenientes de las fuentes seleccionadas con base en las siguientes pruebas ASTM: análisis granulométrico, pesos unitarios, pesos específicos y abrasión.
- ✱ Caracterizar el agregado fino con base en las siguientes pruebas ASTM: análisis granulométrico, pesos unitarios, pesos específicos e impurezas orgánicas.
- ✱ Relacionar los resultados de la prueba de abrasión de los agregados gruesos, provenientes de cada fuente, con sus pesos unitarios, sus pesos específicos, su módulo de finura y con la resistencia a la compresión del concreto.
- ✱ Hacer curva de desgaste del material contra número de revoluciones.
- ✱ Realizar un diseño teórico para una mezcla de concreto para una resistencia a compresión empleando un  $f_c > 350 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✱ Elaborar curvas estándar de desarrollo de resistencia hasta los 56 días de edad del concreto y determinar las razones porcentuales de resistencia a compresión del concreto para 3, 7 y 28 días.
- ✱ Determinar las siguientes características: el módulo de elasticidad, el peso unitario del concreto endurecido y módulo de ruptura.



## 1.4 Alcances

Este trabajo analiza cuatro tipos diferentes de agregado grueso, todos provenientes de tajo y su contribución a la resistencia a la compresión de un CMR de más de  $350 \text{ kg/cm}^2$ , con base en las propiedades mecánicas (prueba al desgaste en máquina Los Ángeles) del agregado grueso.

Los agregados gruesos se caracterizaron según las siguientes pruebas: cantidad de finos que pasan la malla #200 (ASTM C-117-03), análisis granulométrico (ASTM C-136-01), gravedad específica (ASTM C-127-01), pesos unitarios (ASTM C-29-97), abrasión en máquina Los Ángeles (ASTM C-131-03) y contenido de partículas friables y terrones de arcilla (ASTM C-142-97).

El agregado fino se caracterizó de acuerdo con las siguientes pruebas: cantidad de finos por lavado de material en malla #200 (ASTM C-117-03), análisis granulométrico (ASTM C-136-01), gravedad específica (ASTM C-128-01), pesos unitarios (ASTM C-29-97) y colorimetría (ASTM C-40-04).

Para el cemento se realizaron las pruebas de finura en el permeámetro Blaine (ASTM C-204-00), consistencia normal (ASTM C-187-98), tiempo de fraguado (ASTM C-191-04) y resistencia a la compresión en cubos de 50 mm (ASTM C-109-97).

Para la resistencia de concretos en análisis, la única variable es la piedra y se utilizó el mismo tipo de cemento y arena, así como procedimiento de pruebas y elaboración del concreto. No se utilizó ningún aditivo.

El equipo que se utilizó para las distintas pruebas es el establecido por las normas ASTM y es el disponible en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LANAMME). Igualmente, el desarrollo experimental se realizó siguiendo normas ASTM que se emplean en Costa Rica.

Con cada uno de los cuatro tipos de agregados y para tener un 95% de confiabilidad<sup>28</sup>, se elaboraron 30 cilindros de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura para fallarlos a los 3, 7, 28 y 56 días (7 u 8 cilindros por fecha). Las mezclas se dosificaron por peso y se fabricó mezcla para colar treinta cilindros y dos vigas de una sola tanda.

Para obtener los mismos resultados que se ofrecen en este proyecto, deben utilizarse los mismos materiales y equipo utilizados y deben seguirse los mismos procedimientos. Cualquier variación que se haga puede repercutir en los resultados y en el análisis realizado.



Para elaborar una base de datos que incluye las características físicas de agregados y cemento empleados en Costa Rica y características del concreto producido, se realizó una recopilación de información que incluye veinticuatro proyectos de graduación, de 1984 en adelante, disponibles en la Universidad de Costa Rica y el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

## 1.5 Limitaciones

Las limitaciones más importantes que existieron a la hora de desarrollar el proyecto tienen que ver con la disponibilidad de equipo y espacio en el laboratorio. Por motivos de espacio, no se tuvo la posibilidad de tener los agregados gruesos en un solo recipiente o sitio de almacenamiento, sino que se colocaron en sacos y esto no es lo más recomendable en el momento de tomar muestras representativas del lote total. Además, se tuvo que fijar fechas de trabajo en experimentos y falla de especímenes tales que no coincidieran con feriados o vacaciones, lo que atrasó el proyecto.

Para la prueba de finura se utilizó un cemento patrón con mucho tiempo de almacenamiento.

La escogencia de los tipos de agregados que se utilizan en el presente proyecto se hizo con base en los datos contenidos en estudios anteriores. Se esperaba que los agregados escogidos tuvieran valores de desgaste por abrasión en un rango amplio (posiblemente entre 10% y 35%<sup>8 y 27</sup>) y diferentes entre sí, pero, en la práctica, para tres de los agregados se obtuvieron valores que no difieren en más de 3% (abrasiones entre 16,6 y 18,4%).

Se presentó la limitación técnica de no poder controlar la humedad precisa en el instante en que se hizo la batida, sino que se tomó por varios días antes e incluso un día antes de la batida. Hay que comprender que la humedad varía incluso a cada hora, lo cual afecta sobre todo en el caso de la arena. En el caso de tomar agregados secos, se debe entender que no necesariamente se puede completar la absorción en un lapso corto de tiempo (durante la batida), cuando en los experimentos se determina la absorción luego de 24 horas de muestra sumergida.

A la hora de realizar la batida correspondiente a la piedra tipo Polvorón, el fluido eléctrico faltó, por lo que no se pudo enmendar los problemas de trabajabilidad que se tuvieron y se colocó el concreto, teniendo éste un revenimiento de tan solo 6 cm. Como



resultado de esto, sólo se obtuvieron 15 cilindros con un acabado adecuado y, con esta cantidad, se reduce el nivel de confianza de los resultados para este tipo de concreto elaborado.

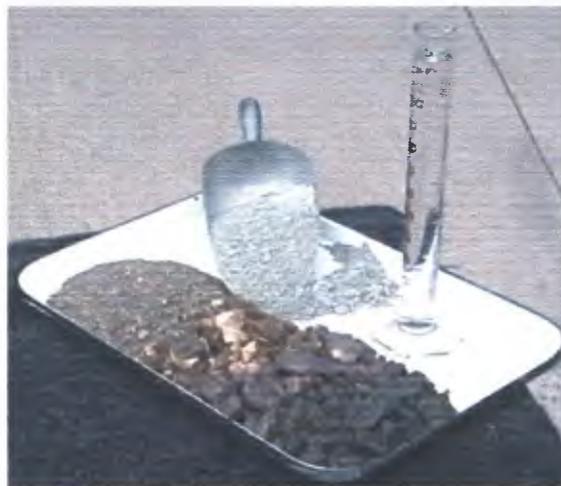
Se debe comprender las variaciones en las condiciones del tiempo: viento, humedad y temperatura. Por ejemplo, los días en que se realizó las batidas utilizando agregados de Cónovas y Ochomogo las condiciones del tiempo fueron “de temporal” o lluvias intermitentes (situación favorable para el curado de los cilindros), mientras los días en que se realizó las batidas con agregados de Cerro Minas y Polvorón el tiempo estuvo soleado.



## Capítulo 2

### Componentes del concreto

El concreto u hormigón se puede definir como una masa compacta, integrada, principalmente, por los siguientes componentes: piedra, arena, agua, cemento y quizá un aditivo (ver Figura No. 1). La pasta (agua y cemento) es la matriz encargada de proveer la unión de todos los demás componentes, los cuales, a la vez, se encargan de dar cuerpo a la masa final, ocupando entre 60% a 80% del volumen total. Por lo tanto, la calidad mecánica de un concreto dependerá de los elementos individuales que lo componen, así como de la afinidad del conjunto <sup>(32)</sup>.



Fuente: Autor

**Figura No. 2.1**  
Los principales componentes del concreto

De esos componentes mencionados, las características que usualmente se estudian para describir las propiedades físicas y mecánicas que poseen se describen en este capítulo. No se tocará la teoría referente a aditivos, puesto que en el presente proyecto no se utilizan aditivos para elaborar los cilindros de prueba.



## 2.1 Agregado grueso (piedra)

La piedra es un material de procedencia natural o manufacturada. Son granos minerales que, mayoritariamente, quedan retenidos en la malla # 4, la cual tiene aberturas de 4,75 mm <sup>(34)</sup>.



Fuente: Autor

**Figura No. 2.2**  
Ejemplo de agregado grueso

Un indicador inicial del comportamiento del agregado es su origen geológico. En este sentido, los agregados gruesos se pueden dividir en: ígneos, sedimentarios y metamórficos <sup>(34 y 38)</sup>.

Las rocas ígneas constituyen una masa sólida de silicatos entrelazados y son el resultado de la cristalización de una roca fundida, es decir, del enfriamiento y solidificación del magma. Puede ocurrir debajo de la superficie terrestre (proceso intrusivo), o bien, en la superficie como consecuencia de una erupción volcánica (proceso extrusivo). Es usual que contengan vidrio y que, en forma triturada, presenten granos angulosos.

Las sedimentarias son aquellas formadas por la litificación, por procesos de compactación o cementación, de aquellos sedimentos que provienen de la meteorización de las rocas. Entre las características más comunes que adquieren es que pueden contener fósiles, los granos tienden a ser redondeados y que pueden presentar cambios bruscos de color entre una capa y otra.

Finalmente, el metamorfismo se refiere a la transformación de una roca en otro tipo de roca, por lo que una roca ígnea, una roca sedimentaria o, incluso, una roca



metamórfica pueden transformarse en una nueva roca metamórfica. Existen tres factores que hacen que cualquier roca se transforme en una metamórfica: el calor, la presión y los fluidos químicamente activos. En estas rocas se da la formación de capas paralelas delgadas por lo que fácilmente se fracturan en lajas.

Cualquiera que sea el origen de la roca, los agregados pueden ser obtenidos de diferentes tipos de fuentes <sup>(32 y 34)</sup>:

*Naturales:* En este caso, las piedras han sido fragmentadas por acciones meteorizantes naturales (agua, viento, gravedad). Son agregados que se encuentran depositados, principalmente, en ríos y mares. También se puede citar aquellos que se encuentran en depósitos provenientes de volcanes (depósitos piroclásticos), desiertos, depósitos lacustres, depósitos eólicos, gravaderas y tajos secos. Habitualmente, los agregados provenientes de ríos, mares y depósitos eólicos son más redondeados y poseen menos poros puesto que los agentes meteorizantes se han encargado de desgastar el material, dejando solo el corazón del mismo.

*Semi-naturales:* Son agregados que se extraen de una fuente natural, pero que deben ser procesados por el ser humano mediante procesos de trituración para el uso; los quebradores son los encargados de esta labor. Estos agregados son más rugosos, angulares y con mayor cantidad de poros.

*Artificiales:* Son aquellos que han sido manufacturados combinando materiales o modificando químicamente elementos naturales. Su diversidad no permite describir un patrón que los caracterice.

Vale destacar que muchas veces, sobre todo por tratar de cumplir una especificación granulométrica, se utilizan combinaciones de agregados provenientes de diferentes fuentes.

Las características más importantes de los agregados gruesos que deben analizarse para conocer su calidad son: el tamaño, distribución granulométrica, desgaste por abrasión, peso unitario, peso específico, porosidad, absorción, forma, textura



superficial y cantidad de materia contaminante que contienen. Son factores que deben examinarse ya que tienen algún efecto sobre la calidad del concreto que se produce con ellos.

### 2.1.1 Tamaño del agregado

Para valorar y clasificar los agregados según el tamaño se utilizan mallas de diferentes tamaños, por donde se criba el material y se analiza el porcentaje pasando por ellas.

El tamaño máximo de un agregado se puede definir como el tamaño de la malla más pequeña por donde pasa el 100% del material. En tanto, el tamaño máximo nominal es el mayor tamaño de malla donde queda retenido material, respetando un sobretamaño máximo permisible que se indica en la Tabla No. 2.1 <sup>(32)</sup>.

**Tabla No. 2.1**  
Tamaños máximos de agregados y sobretamaños permisibles

<i>Tamaño máximo del agregado</i>				<i>Sobretamaño nominal permisible en el total de agregado grueso (% máximo)</i>
<b>Nominal</b>		<b>Efectivo</b>		
<b>(mm)</b>	<b>(pulg)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(pulg)</b>	
10	3/8	13	½	15
13	½	19	¾	10
19	¾	25	1	10
25	1	38	1 ½	5
38	1 ½	51	2	5
51	2	63	2 ½	5
76	3	89	3 ½	5
102	4	127	5	5
152	6	178	7	5

Fuente: (32)

Dependiendo del tamaño del elemento que se vaya a fabricar y de la forma de colocación del concreto, así se debe escoger el tamaño más conveniente de piedra. El Código del ACI 318-02 aconseja que el tamaño nominal del agregado no debe ser mayor



que: un quinto de la dimensión más pequeña de las formaletas, un tercio del espesor de las losas, ni tres cuartos de la distancia mínima entre las barras de refuerzo.

Para concretos, al menos de mediana resistencia, los agregados con tamaño nominal máximo de 12,7 mm son aptos pues generan buena trabajabilidad. El fenómeno de obtener mayor resistencia con agregados pequeños se debe al empleo más eficiente del cemento y a la unión desarrollada entre el agregado grueso y la pasta debido al incremento en el área superficial provista <sup>(16)</sup>.

### **2.1.2 Granulometría**

La granulometría es la forma de representar esa distribución de las partículas de agregado de acuerdo con el tamaño que tienen. Ese análisis se lleva a cabo pasando el material por una serie de mallas con aberturas cuadradas y contabilizando el material retenido o pasando en cada tamiz. Usualmente, se elabora una curva del porcentaje pasando de material contra tamaño del tamiz, lo que se denomina curva granulométrica <sup>(32)</sup>.

Para la fabricación de concreto, es necesario que exista una graduación adecuada, lo cual se hace expreso por medio de una curva granulométrica suave y continua. Con esto se garantiza, en primera instancia, que los espacios que existan en una revoltura de concreto quedan rellenos mayoritariamente por agregado, con lo que se minimiza la cantidad de pasta a emplear, pues no se requiere mayor cantidad para cubrir la ausencia de partículas de determinado tamaño <sup>(45)</sup>.

La norma ASTM C-33 indica diferentes rangos de límites granulométricos que se deben cumplir de acuerdo con el tamaño nominal máximo del agregado. Estas especificaciones se han establecido ya que las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto; afectan las proporciones relativas de los agregados y los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad <sup>(33)</sup>.

### **2.1.3 Resistencia al desgaste por abrasión**

Una de las pruebas fundamentales para analizar la capacidad de un agregado a sufrir desgaste es la de abrasión, indicada en las normas ASTM C-131-03 y ASTM C-535-



03. La primera es la norma aplicable a agregados gruesos de tamaños pequeños, de hasta 37,5 mm, mientras que la otra aplica en agregados de tamaños mayores.

Se ha sostenido que la abrasión constituye una forma indirecta de medir la capacidad del agregado a resistir cargas de compresión y, además, es una propiedad muy importante, sobre todo, en aquellos concretos sometidos a desgaste severo <sup>(33)</sup> (pisos de industrias y sometidos a alto tránsito y aquellos expuestos al paso constante de fluidos). Sin embargo, existe discordancia en cuanto a la relación existente entre desgaste por abrasión del agregado y resistencia a la compresión del concreto elaborado con dichos materiales; en muchos laboratorios estas dos variables se han correlacionado para una gran variedad de agregados e incluso se ha encontrado una relación muy buena con el desgaste real del agregado cuando se usa en concreto y con resistencias a la flexión, pero en otros estudios no se encuentra una relación significativa <sup>(37 y 53)</sup>. Algunas fuentes son de la opinión que la prueba en máquina Los Ángeles no revela si el agregado ha de tener un buen desempeño en el concreto y más bien establecen que la importancia de esta prueba radica en estimar la cantidad de agregado que se pierde en labores de manipuleo <sup>(54)</sup>.

En la prueba, una muestra de material junto con una cantidad específica de esferas metálicas se coloca dentro de un tanque (máquina Los Ángeles), que se hace rotar 500 revoluciones a una velocidad de entre 30 rev/min a 33 rev/min. Finalmente, se obtiene el porcentaje de material pasando en la malla # 12, es decir, partículas de tamaño inferior a 1,70 mm, lo que constituye la pérdida por abrasión. Esta prueba no se recomienda para agregados de peso liviano.

La pérdida es el resultado del impacto generado y la abrasión superficial sobre el agregado y el impacto es, posiblemente, lo que genera mayor pérdida <sup>(37)</sup>.

Cuando se analiza la tenacidad de un agregado, es decir el desgaste a las 100 revoluciones, se valora no sólo la aptitud del agregado para absorber una cierta cantidad de energía mecánica sino que también identifica la presencia de partículas blandas fácilmente degradables <sup>(32)</sup>.

Para concretos normales, se recomienda un límite de aceptación de 50% de material desgastado, mientras que para concretos sometidos a desgaste severo, el límite es 40%. Sin embargo, existen estudios <sup>(16)</sup> que recomiendan un valor de 25%, cuando el agregado ha de usarse, al menos, en concretos de mediana resistencia.



La calidad del agregado también ha sido valorada mediante otros procedimientos de acuerdo con tenacidad de la roca, dureza, abrasión, fortaleza y elasticidad. Sin embargo, estas metodologías han caído en desuso por ser obsoletas o por la diferencia en los resultados que se obtienen <sup>(37)</sup>.

#### **2.1.4 Peso unitario**

Para analizar el peso unitario de un agregado se recurre a la prueba ASTM C-29-97, donde se consideran dos condiciones: la suelta y la envarillada. El peso unitario suelto se refiere a la relación de masa de agregado y volumen ocupado cuando el material se coloca de manera suelta en el recipiente, en tanto que la condición envarillada es aquella en que el material se compacta y acomoda en capas con una varilla redondeada dentro del recipiente.

Así, atendiendo a la condición de peso unitario masivo seco, se pueden encontrar agregados pesados (con peso mayor a  $1900 \text{ kg/m}^3$ ), agregados livianos (con peso inferior a  $1120 \text{ kg/m}^3$ ) y agregados normales (valor de peso unitario comprendido entre los anteriores) <sup>(33)</sup>.

El peso unitario de un agregado con determinada gravedad específica depende del tamaño, distribución y forma de las partículas del agregado <sup>(32)</sup>.

#### **2.1.5 Peso específico**

Se define como la relación existente entre el peso unitario del agregado y el peso unitario del agua. Para obtener el peso específico aparente, peso específico bruto seco, peso específico saturado superficie seca y absorción de los agregados gruesos se siguen los procedimientos dictados en la norma ASTM C-127-01. Para agregados finos se tiene la norma ASTM C-128-01.

El peso específico es una de las características que influye en el peso unitario del concreto (tanto fresco como endurecido). Para concretos de peso normal, entre  $2200 \text{ kg/m}^3$  y  $2550 \text{ kg/m}^3$ , debe emplearse agregados con peso específico entre 2,4 y 2,8. El uso de agregados con peso específico inferior a 2,4 es un motivo para dudar de la aptitud para producir concretos de peso normal <sup>(32)</sup>.

El peso específico de un agregado es un valor que se usa para calcular cantidades, sin embargo, el valor real del peso específico de un agregado no indica



directamente la calidad del agregado <sup>(39)</sup>. A veces, se analiza, conjuntamente, peso específico y sanidad de la roca y, en general, se puede decir que cuanto más pesadas y sanas estén las piedras, mayor calidad del concreto <sup>(32)</sup>.

### **2.1.6 Porosidad y absorción**

La absorción se define como el aumento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. Se determina mediante la inmersión de una muestra de material en agua. Una absorción alta (superior al 5%) no es penalizable por sí misma, sin embargo, puede ser indicio de un deficiente desempeño del agregado en el concreto, puede ser una característica intrínseca del material, o bien, puede ser provocada por la presencia de partículas contaminantes de inferior calidad <sup>(32)</sup>.

Se sabe que entre más seco esté el agregado en el momento de hacer la mezcla, más tiempo tardará en llegar al punto de saturación. Además, la velocidad de absorción de cualquier clase de agregado decrece conforme se reduce la relación A/C y con mayor tiempo de curado <sup>(30)</sup>. Cuando se usa agregado seco en mezcla, es posible que las partículas se cubran rápidamente con cemento, lo cual impide que el agua para saturar el agregado entre y como resultado, la relación A/C efectiva es mayor <sup>(39)</sup>.

La absorción es una propiedad muy relacionada con la porosidad y también tiene relación con la capacidad al desgaste abrasivo del material. Se puede decir que con mayor porosidad, la pasta es capaz de imbuirse dentro del agregado y por tanto se adquiere mayor agarre entre pasta y agregado. Sin embargo, también ha de decirse que debido a la relación que existe entre absorción y desgaste del material, un agregado que es muy poroso posiblemente sufra un porcentaje elevado de pérdida por abrasión, lo cual es especialmente perjudicial en aquellos concretos sometidos a abrasión con agregado expuesto.

### **2.1.7 Forma y textura superficial**

La forma y textura no son características que indiquen la calidad intrínseca de una piedra, pero son factores que se deben tomar en cuenta ya que tienen una influencia importante en el comportamiento del concreto.



La textura superficial interviene en la afinidad que se pueda tener entre pasta y agregados del concreto. Contrario a lo que ocurre con piedras lisas, las texturas más rugosas proveen una mayor adherencia, permitiendo al concreto trabajar como un material homogéneo que pueda soportar las cargas que se le apliquen <sup>(27)</sup>. Sin embargo, las texturas más ásperas disminuyen la trabajabilidad.

En cuanto a la forma, se puede decir que esta propiedad afecta la trabajabilidad y la resistencia del concreto. Los agregados redondeados, como también se describirá en el Capítulo 3, demandan menor cantidad de finos para facilitar el movimiento en una mezcla de concreto, ya que se mejora la trabajabilidad.

Algunos agregados pueden presentar partículas laminadas o elongadas, las cuales no son convenientes. Éstas disminuyen la trabajabilidad de las mezclas pues dificultan la colocación del concreto pero, además, afectan la resistencia, pudiéndose no alcanzar la resistencia especificada, pues promueven la formación de planos de falla <sup>(45)</sup>. Se recomienda un máximo de 15%, en peso este tipo de partículas <sup>(8)</sup>.

#### **2.1.8 Materiales contaminantes**

Como se mencionó anteriormente, los agregados pueden ser extraídos de diferentes sitios. Frecuentemente, en Costa Rica, los agregados se obtienen de ríos, tajos y mar, por lo que pueden contener partículas contaminantes: limo y arcilla, materia orgánica, sal o partículas muy pequeñas producto de la desintegración y trituración de la piedra en el quebrador. Estas partículas son indeseables ya que reducen la resistencia del concreto pues dificultan la adherencia, o bien, contienen sustancias que pueden reaccionar inconvenientemente con el cemento, el agua o el acero de refuerzo <sup>(45)</sup>.

Para determinar la cantidad de finos se hace uso de la prueba ASTM C-117-03: lavado por malla 200. Se especifica que para concreto expuesto a acciones abrasivas, el máximo permisible es 1% para finos de cualquier tipo y 1,5% para fragmentos de roca, libres de arcilla.

#### **2.1.9 Partículas friables**

La norma ASTM C-142-97 describe el procedimiento para determinar el porcentaje de partículas friables en una muestra de agregado con el fin de determinar la aceptabilidad de un agregado. Con este experimento lo que se pretende es determinar el



contenido de partículas que son muy frágiles y se pueden deshacer con la fuerza de los dedos, de partículas que se deshacen fácilmente con el agua y terrones de arcilla.

La norma ASTM C-33-03 indica la especificación de contenido máximo de partículas friables de acuerdo con la condición en que se encuentre el concreto. Así, para regiones con climas severos (con alta humedad o ciclos de hielo y deshielo) se recomienda que aquellos concretos utilizados en losas, puentes, pisos de estacionamientos y aceras, el porcentaje de partículas friables máximo sea 3. Para regiones con clima moderado, ese porcentaje es 5.

## 2.2 Agregado fino

A los materiales granulares, minerales, de procedencia natural o manufacturada que pasan la malla #4 (con abertura de 4,75 mm) y que son, mayoritariamente, retenidos en la malla #200 (75  $\mu$ m) se les denomina arena.



Fuente: autor

**Figura No. 2.3**  
Ejemplo de arena

De acuerdo con el origen geológico y proceso de obtención, las arenas tienen la misma clasificación descrita en la sección 2.1. Igualmente, en cuanto a características de forma, textura superficial, peso específico, porosidad y absorción, para arenas se guardan los mismos principios que los descritos en la sección 2.1 para agregado grueso. Más bien, en esta sección se hace énfasis en características de granulometría, módulo de finura y materia contaminante que pueda contener la arena.



### 2.2.1 Granulometría y módulo de finura

Al igual que para agregados gruesos, la curva granulométrica, que muestra la graduación de una arena, debe ser suave y continua, con lo que se aseguran propiedades de trabajabilidad, economía y resistencia; la idea con esto es utilizar una graduación tal que se obtenga un concreto denso, con reducidos espacios vacíos para así disminuir a la cantidad necesaria el uso de cemento.

El módulo de finura (MF) es un índice utilizado para determinar cuán fina es una arena y puede utilizarse para estimar la cantidad de agregados necesarios en una mezcla de concreto. Se define como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados hasta la malla #100, dividido entre 100. En la Tabla No. 2.2 se indican los valores de módulos de finura y la respectiva clasificación.

**Tabla No. 2.2**  
Clasificación de arenas según módulo de finura

Módulo de finura	Clasificación
< 2,0	Muy fina
2,0 – 2,3	Fina
2,3 – 2,6	Medio fina
2,6 – 2,9	Media
2,9 – 3,2	Medio gruesa
3,2 – 3,5	Gruesa
> 3,5	Muy gruesa

Fuente: (20)

Las arenas que han de ser utilizadas para concreto deben tener un módulo de finura entre 2,3 y 3,1. Una arena con un módulo de finura inferior a 2,3 se considera sumamente fina, por lo que demanda una mayor cantidad de agua y un mayor consumo de cemento. En tanto, una arena muy gruesa provoca una menor trabajabilidad en el concreto fresco <sup>(9)</sup>.

### 2.2.2 Materiales contaminantes

Para determinar la presencia de materia orgánica se aplica la prueba de colorimetría (ASTM C-40-04). A la vez, las especificaciones indican una tolerancia de 5% de contenido de finos pasando la malla #200 para concretos convencionales, pero 3% para concretos sometidos a desgaste severo.

El material que pasa la malla #200 está constituido por impurezas orgánicas, arcillas, limos y polvo. Estas pequeñas partículas interfieren en el proceso de hidratación



del cemento o impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento.

## 2.3 Agua

El agua es otro de los ingredientes necesarios para elaborar una mezcla de concreto, pues es indispensable para que se lleve a cabo la reacción entre agua y cemento y para proveer de una adecuada trabajabilidad a la mezcla.

Constituye entre 10% y 25% del volumen del concreto recién mezclado <sup>(32)</sup> y lo más importante que debe cuidarse es que no contenga sustancias dañinas que vayan a producir efectos nocivos en el concreto, como por ejemplo: alteración indebida en el tiempo de fraguado, alteración en la resistencia inicial o de mediano plazo del concreto, ataque de sulfatos, reacciones álcali-agregado y corrosión de acero de refuerzo

El ACI 318-02 recomienda que el agua para concretos debe estar libre de ingredientes tóxicos, contaminación, sedimentos, aceites, azúcares, materiales orgánicos o químicos. Esto porque estas sustancias pueden modificar la resistencia del concreto y alterar la adherencia entre pasta y agregado.

Una práctica común para seleccionar el agua consiste, simplemente, en consumir agua potable. Sin embargo, cuando existen dudas de la calidad de la misma o cuando se vaya a utilizar agua que no es extraída de la red local y que no tenga antecedente de uso en la fabricación de concretos, debe verificarse que no se exceda la cantidad permisible de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto <sup>(32)</sup>.

El agua con que se curan especímenes o elementos de concreto debe ser de características similares al agua de mezclado.

## 2.4 Cemento <sup>(1)</sup>

El componente principal de los cementos calcáreos es la cal y pueden ser de dos tipos: hidráulicos (ganan resistencia y endurecen al reaccionar químicamente con el agua) y no hidráulicos (simplemente rigidizan).

El ingrediente principal de las mezclas de concreto es el cemento *pórtland* que es un cemento calcáreo, el cual está hecho a base de calcio, sílice, aluminio y hierro.



Para producir cemento, los materiales convenientes (piedras calizas, material calcáreo, esquistos, pizarras, arcilla, arena y hierro) deben explotarse en canteras y luego han de triturarse en la planta; estos materiales se proporcionan para crear un cemento con determinada composición química.

Existen dos métodos para la siguiente fase del proceso de fabricación de cemento *pórtland*: seco y húmedo. En el primero, los materiales se proporcionan, se hacen polvo y se introducen al horno, en tanto que, en el método húmedo, a los materiales crudos, ya proporcionados, se les agrega agua y se forma una especie de barro en estado plástico, con el que se completan procesos de molienda y mezclado para, finalmente, introducirlo a un horno rotatorio, que tiene una temperatura entre los 1400 °C y 1650 °C. Así que el material se introduce en dicho horno, se producen una serie de reacciones químicas que causan la fusión del material y se crean pequeñas bolas de clínker.

Luego, el clínker se transfiere a enfriadores, que reducen su temperatura a 120 °C. Finalmente, el clínker se muele hasta obtener la finura deseada y se le agrega sulfato de calcio hidratado. En esta etapa, a veces, se incorpora adiciones como caliza o puzolanas.

Más del 90% del peso del cemento *pórtland* está compuesto por cuatro compuestos: el silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato dicálcico ( $C_2S$ ), aluminio tricálcico ( $C_3A$ ) y ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ). El silicato tricálcico ( $C_3S$ ) es el que produce la alta resistencia inicial del cemento *pórtland* hidratado; la reacción que genera con el agua es exotérmica produciendo el calor de hidratación, que rige la rapidez del endurecimiento de la pasta de cemento. El silicato dicálcico ( $C_2S$ ) produce la resistencia posterior de la pasta de cemento y debido a su lenta reacción de hidratación, posee un menor calor de hidratación. El aluminio tricálcico ( $C_3A$ ) presenta un fraguado instantáneo al hidratado y genera el fraguado inicial del cemento *pórtland*, desprendiendo grandes cantidades de calor de hidratación; el tiempo de fraguado es controlado mediante la adición de yeso. Finalmente, el ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), debido a que se hidrata con rapidez y por sí solo desarrolla baja resistencia, sin embargo, no muestra un fraguado instantáneo (18).

De acuerdo con los requerimientos físicos y químicos que se deseen, se pueden manufacturar diferentes tipos de cemento *pórtland*. En la norma ASTM C-150 se definen ocho tipos de cemento *pórtland*, de los cuales, el tipo I es el más usado. En Costa Rica



existen dos empresas que producen cemento *pórtland* Tipo I MP, el cual es el tipo usado actualmente en nuestro país para uso general (concretos convencionales).

Para producir cementos Tipo I MP, se usa la adición de puzolana natural, que es de origen volcánico. Dado que las puzolanas reaccionan químicamente en presencia de agua con el hidróxido de calcio desarrollado en el proceso de hidratación y que forma compuestos con propiedades cementantes, parte del cemento *pórtland* puede ser sustituido.

Las ventajas por adición de material puzolánico al cemento *pórtland* son las siguientes: aumento en la trabajabilidad, reducción en la exudación y la segregación, disminución del calor de hidratación, disminución de la permeabilidad, disminución de la expansión álcali-agregados y el incremento de la resistencia a los agentes químicos y a las aguas y suelos agresivos <sup>(18)</sup>.

La norma nacional NCR 40:1990, publicada el 5 de setiembre de 1990 en La Gaceta es la que dicta los requerimientos de calidad de los cementos.

Existen una serie de características o propiedades del cemento que deben ser evaluadas para asegurar la calidad del mismo, y las cuales se describen en los siguientes párrafos.

#### **2.4.1 Densidad del cemento**

Es la masa de cemento por unidad de volumen de sólido y se mide, experimentalmente, mediante la prueba ASTM C-188. Para cementos tipo I, la norma nacional indica que la densidad del cemento debe ser inferior a  $3,15 \text{ g/cm}^3$  <sup>(42)</sup>.

#### **2.4.2 Finura**

La finura de un cemento es importante analizarla porque indica lo rápido que el cemento se ha de hidratar y que va a reaccionar con el agua. Entre más fino sea un cemento, más rápida es su reacción, pero también mayor capacidad para formar ligaduras inestables. Además, es la única prueba que aporta beneficio a la cohesión y trabajabilidad de las mezclas de concreto <sup>(34)</sup>.

Para determinar la finura, se puede recurrir a la prueba de la malla 325, al turbidímetro de Wagner o al permeámetro de Blaine (normas ASTM 430-96, ASTM C-115 y ASTM C-204-00 respectivamente).



### 2.4.3 Consistencia normal

La consistencia normal de un cemento se logra cuando la penetración en la pasta de cemento en estado plástico, con aguja de Vicat llega a  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . Con esta prueba se valora la cantidad de agua, en porcentaje, que hay que añadir al cemento para lograr esa pasta viscosa y obtener dicha consistencia, además que da una idea de la finura del cemento, ya que el agua requerida aumenta al aumentar la superficie específica del cemento.

Para cementos tipo I MP, se requiere una cantidad cercana al 30% del cemento para lograr la consistencia normal.

### 2.4.4 Tiempo de fraguado

Al mezclarse el cemento con el agua, se forma una masa inicialmente suave y plástica, descrita en el párrafo anterior, que poco a poco va endureciendo. El tiempo de fraguado inicial se refiere al tiempo que toma desde que se coloca la muestra en el anillo de prueba hasta aquella medición en que la penetración de la aguja Vicat en la muestra de cemento sea 25 mm. En tanto, el fraguado final ocurre cuando la aguja de Vicat ya no se hunde más de 1 mm en la pasta.

El fraguado inicial, como lo indica la norma NCR 40:1990 para cemento hidráulico tipo I MP, señalada en la Tabla No. 2.3, no debe ser inferior a 45 minutos, pues de lo contrario no existiría tiempo suficiente para la colocación del concreto.

**Tabla No. 2.3**  
Especificación para tiempo de fraguado con aparato de Vicat para cemento hidráulico tipo I MP

Fraguado	Tiempo (min)
Fraguado inicial	45 mínimo
Fraguado final	375 máximo

Fuente: (42)

### 2.4.5 Compresión del cemento

La resistencia a compresión del cemento se mide fabricando cubos de mortero con arena estándar (arena Ottawa). El mortero debe tener una consistencia tal que, al colocarla en la tabla de flujo, produzca un incremento de  $110 \% \pm 5 \%$  del tamaño inicial. Para lograr esto, se requiere adicionar cerca de un 50% de agua al cemento tipo I.



En la Tabla No. 2.4 se indica la especificación nacional de resistencia a compresión de morteros hechos con cemento hidráulico tipo I MP.

**Tabla No. 2.4**  
Especificación nacional para resistencia a compresión mínima  
para cemento hidráulico tipo I MP, según edades

Edad	Resistencia (MPa)
1 día	-
3 días	12,4
7 días	19,3
28 días	-

Fuente: (42)

La resistencia depende de la cohesión de la pasta de cemento, de su adhesión a las partículas de arena y, en cierta forma, de la resistencia de la arena misma.



## Capítulo 3

### Factores que inciden en la calidad del concreto

Existen dos condiciones básicas en las que se puede estudiar el concreto:

- En estado fresco
- En estado endurecido

Por ejemplo, cuando el concreto está en su estado fresco, resulta indispensable que tenga una consistencia adecuada, de manera que pueda colocarse fácilmente. Asimismo, se requiere que, cuando ya haya alcanzado el estado endurecido, posea la resistencia suficiente para soportar los efectos de las solicitaciones mecánicas y todas las condiciones de exposición y servicio a que pueda verse sometido, como el intemperismo.

Por lo tanto, en esta sección se describen algunos de los principales factores que inciden en la calidad del concreto, atendiendo a si éste se encuentra en la fase fluida o si está en una condición endurecida.

#### 3.1 Concreto fresco

Esta condición se presenta apenas sale el concreto de la batidora. Este material es de consistencia blanda y moldeable, como se observa en la Figura No. 3.1, pero el concreto aún no ha adquirido resistencia.



Fuente: Autor

**Figura No. 3.1**  
Concreto fresco



Después de unas dos horas de haber completado el mezclado, la condición fluida empieza a disminuir gradualmente para iniciar una etapa de transición en la que se da el fraguado y que puede durar de 2 a 10 horas <sup>(32)</sup>.

### **3.1.1 Requerimiento de agua**

La pasta es el material cementante entre los diferentes componentes del concreto y se obtiene cuando agua y cemento reaccionan químicamente. Para asegurar la mínima hidratación de cemento se requiere hacer uso de una relación agua cemento (A/C), en peso, igual a 0,25 <sup>(45)</sup>.

Sin embargo, al utilizar una relación A/C tan baja, obteniendo así una mezcla seca, solo se asegura la reacción mencionada, pero no la trabajabilidad de la mezcla ni otros posibles costos indirectos. Tampoco considera la cantidad de agua absorbida por los agregados, aspecto en el que se debe contemplar la cantidad de finos incluidos y la limpieza del agregado. Una mayor adición de finos implica mayor demanda de agua.

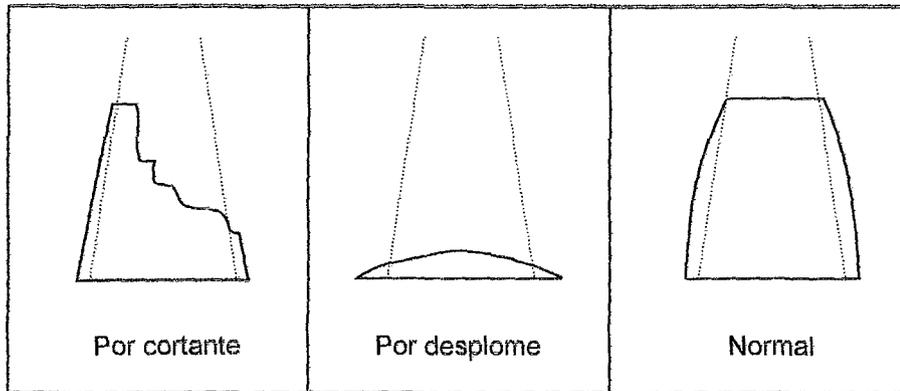
### **3.1.2 Trabajabilidad y consistencia**

La trabajabilidad consiste en la facilidad para transportar, depositar y consolidar el concreto sin producir segregación; está relacionada con el trabajo que debe hacerse para vencer la fricción interna que existe en el concreto y poder compactarlo. El principal factor que la afecta es el contenido de agua, pues, a mayor contenido de agua, mayor fluidez de la mezcla, pero también, los agregados finos tienen una significativa influencia sobre la trabajabilidad del concreto, siendo mucho mayor que la que ejercen los gruesos <sup>(36)</sup>.

No existe una manera de medir directamente la trabajabilidad pues no es una cantidad dimensional, por lo que se recurre a la medición de la consistencia de la mezcla, es decir, la cuantificación de la fluidez de la mezcla. Para ello, comúnmente, se prueba el revenimiento del concreto fluido, experimento normado en ASTM C-143-03.

En esta prueba, una porción de muestra se introduce en un recipiente estándar, denominado cono de Abrahams, compactándolo en capas de un tercio del volumen con 25 golpes. Al levantar verticalmente el cono, la muestra se desmorona, con lo que se procede a medir el revenimiento.

Existen tres formas básicas de revenimiento, las cuales se muestran en la Figura No. 3.2.



Fuente: Adaptación de (36)

**Figura No. 3.2**  
Esquema de diferentes formas de revenimiento

De modo general, se ha de decir que si ocurre un revenimiento con falla por cortante o desplome, el concreto no es satisfactorio para colocarlo. El ocurrido con falla por cortante puede reflejar problemas en la granulometría utilizada (deficiencia de arena o exceso de gruesos). El desplome es normal observarlo en mezclas donde se ha utilizado aditivos, pero si éstos no se han usado, debe revisarse la cantidad de agua empleada (revisar control en la humedad de agregados y en el agua de dosificación) y la granulometría <sup>(45)</sup>.

En cuanto a trabajabilidad, es recomendable que los agregados cumplan con una serie de características referentes a tamaño máximo, granulometría, forma y textura.

Los agregados gruesos no deben tener un tamaño máximo superior a 37,5 mm pues con tamaños superiores, la mezcla se torna pesada y se requiere mayor fuerza de adherencia entre los granos. Además, es conveniente la inclusión de partículas con tamaños pasando la malla #50 (como arena y cemento), pues funcionan como lubricantes en la mezcla. De esto se desprende que entre más fino sea un cemento, se provee mayor trabajabilidad pero, un exceso de finos requiere un exceso de agua para mantener la trabajabilidad <sup>(36)</sup>.

En cuanto a la forma, las características de los agregados gruesos tienen una influencia indirecta sobre la trabajabilidad y requerimiento de finos; un agregado redondeado contiene menos vacíos que uno angular con la misma graduación, por lo que se requiere menor cantidad de finos para promover el movimiento libre entre partículas



gruesas. Debe evitarse la inclusión, en más de 15% de partículas elongadas o laminadas y esto se debe a que éstas hacen difícil la colocación y compactación de la mezcla. Por último, agregados lisos facilitan el mezclado porque resbalan fácilmente en la mezcla y por el contrario, los ásperos aumentan la fricción interna <sup>(27)</sup>.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que la trabajabilidad se puede mejorar recurriendo al uso de aditivos. Los aditivos inclusores de aire proporcionan burbujas que se distribuyen uniformemente en todo el concreto, haciendo que los componentes de la mezcla resbalen fácilmente. La adición de puzolanas y otro material finamente dividido también disminuye la fricción interna y demanda más agua. La adición de aditivos superfluidificantes hace más líquida la mezcla durante el estado fresco <sup>(38)</sup>.

### 3.1.3 Segregación y sangrado

La segregación es un evento en el que se pierde homogeneidad de la mezcla, debido a la sedimentación de los gruesos cuando se da en forma de sangrado. Es decir, se tiende a que los componentes no estén igualmente distribuidos en todo el molde. En mezclas secas, se manifiesta haciendo que las partículas gruesas se desplacen hacia fuera y, en mezclas fluidas, se observa el desplazamiento de las partículas más gruesas hacia el fondo y el agua hacia la superficie, produciéndose el fenómeno de sangrado.

El sangrado es evidente con la concentración de agua en la cara superficial del elemento. Tiene la característica de alterar la resistencia del concreto, reduciéndola en la superficie del elemento pues existe mayor cantidad de agua, aumentando la relación A/C.

El sangrado termina cuando el concreto ha rigidizado lo suficiente para que se detenga el proceso de sedimentación. Entre las causas del sangrado se puede citar: mal amarre entre componentes del concreto debido a una granulometría de agregados inapropiada, exceso de agua en la mezcla, exceso de vibrado y malas prácticas de manipuleo y colocación <sup>(33)</sup>.

La sedimentación es inconveniente porque deja canales de aire y porque deja agua y aire atrapados bajo partículas de mayor tamaño, entre pasta y agregado y entre concreto y varilla de refuerzo. En detrimento de la calidad del concreto, se produce una reducción en la resistencia y una pérdida de adherencia <sup>(45)</sup>.



### 3.1.4 Contracción plástica

La contracción plástica es muy común en climas cálidos y se manifiesta con la aparición de grietas en la superficie del concreto fresco, luego de que éste ha sido colocado.

Aunque es difícil predecir, con certidumbre, cuándo ocurrirá este fenómeno, sucede en ocasiones en que las condiciones ambientales producen una evaporación rápida de la humedad en la superficie del elemento. Las grietas aparecen cuando el agua se evapora de la superficie con mayor rapidez con la que aparece el agua de sangrado. Esto origina una rápida contracción por secado y el desarrollo de esfuerzos de tensión en la superficie que, a menudo, tienen como resultado grietas cortas e irregulares.

Existen factores que aumentan la posibilidad de que las grietas por contracción plástica aparezcan, como son: temperatura elevada del concreto y del aire, baja humedad y vientos fuertes. Por ello, algunas medidas pueden tomarse en consideración, por ejemplo, humedecer los agregados del concreto que estén secos y sean absorbentes, mantener la temperatura del concreto fresco controlando la temperatura de agregados y del agua de mezclado y proteger el concreto con cubiertas provisionales. Estas cubiertas pueden tener diversas funciones pues pueden ayudar a disminuir la velocidad del viento, pueden funcionar como pantallas contra el sol y proteger el concreto para minimizar la evaporación <sup>(33)</sup>.

### 3.1.5 Tiempo de fraguado

El fraguado es un proceso en el que la mezcla de concreto empieza a perder fluidez, ganando rigidez y resistencia y, como se dijo antes, puede durar entre 2 y 10 horas.

El tiempo de fraguado depende, casi exclusivamente, de las propiedades que posea el cemento: tipo de cemento, cantidad empleada y finura. Además, la inclusión en el cemento de cenizas volantes, puzolanas naturales y esconas de alto horno molidas provoca retardo en el tiempo de fraguado del concreto <sup>(32)</sup>.

Las características ambientales también ejercen influencia. Las temperaturas elevadas en el concreto fresco reducen considerablemente el tiempo de fraguado, aparte que acortan el período durante el cual se puede transportar, colocar y dar acabado al concreto.



A veces, por motivos de transporte o porque se trabaja con grandes volúmenes de concreto se requiere el uso de aditivos retardadores de fraguado. Como su nombre lo indica, estas sustancias hacen que se alargue el período de fraguado, con lo que se facilita que el concreto sea transportado y colocado aún en un estado fluido.

### 3.2 Concreto endurecido

El concreto endurecido es rígido, posee resistencia y ocurre a partir de que la mezcla ha completado su fraguado. Como se puede apreciar en la Figura No. 3.3, en un elemento fabricado con concreto, los componentes principales, agregado, agua y cemento, se han sumado para producir un nuevo material, entero, más o menos homogéneo, duro y capaz de resistir, según diseño, diferentes tipos de cargas.



Fuente: Autor

**Figura No. 3.3**  
Concreto endurecido

Existen una serie de características que determinan la calidad del concreto y una de las más importantes es la resistencia a la compresión. Otras propiedades están relacionadas con durabilidad, resistencia al desgaste, peso unitario y apariencia. Estos son los aspectos que se describen en la presente sección.

#### 3.2.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de un concreto se mide haciendo uso de especímenes cilíndricos provenientes de una mezcla hecha en campo o en laboratorio, o bien, de núcleos extraídos de las obras ya construidas. Los especímenes se colocan en la

Máquina Universal, en la que se ensayan uniaxialmente. La compresión es la mayor resistencia que los concretos exhiben, sin embargo, éstos también poseen resistencia a tensión y flexión, entre otras. Los concretos se emplean tratando de aprovechar al máximo esa resistencia a la compresión <sup>(38)</sup>. La norma ASTM C-192M-02 es la que dicta los procedimientos para elaborar y curar cilindros en el laboratorio y la ASTM C-31-03 para cilindros en campo.

Sobre todo, la resistencia a la compresión de un concreto convencional está dada en función de la relación A/C empleada. Una mezcla pobre es aquella que utiliza la mayor cantidad de agregados y la menor cantidad de cemento, en tanto que una mezcla rica es aquella que usa la menor cantidad de agregados. Por lo tanto, una mezcla pobre es poco fluida, con lo que se tiene baja relación A/C y con lo que se obtiene mayor resistencia <sup>(41)</sup>.

La composición del cemento empleado también tiene influencia. Como se dijo en la sección 2.4, existen cuatro componentes principales del cemento a saber: silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferrita tetracálcica. Dependiendo de su contenido, inciden en características de velocidad de reacción, calor liberado y tiempo de fraguado <sup>(18)</sup>.

Las propiedades principales de los agregados que tienen influencia en la resistencia son: forma, textura, tamaño, granulometría y calidad química y mecánica.

Los agregados laminados o elongados tienden a arrastrar mayor cantidad de aire, formando bolsas que hacen menos denso el concreto y reduciendo la capacidad a la compresión. Además, estos materiales se rompen más fácilmente que los redondeados, cuando son sometidos a la misma carga. Es conveniente limitar la cantidad de este tipo de agregados, como se dijo anteriormente en la sección de concreto fresco, a un 15%, sin embargo en las normas no se han establecido límites específicos <sup>(39)</sup>.

La textura es otro de los factores a ser tomados en cuenta. Hay que reconocer que agregados más ásperos facilitan la unión entre pasta y agregados, logrando con esto una mayor integración entre los diferentes componentes del concreto, en tanto, un agregado liso facilita la falla por adherencia <sup>(27)</sup>.

Una buena graduación de agregados es importante ya que asegura que todos los espacios sean ocupados, haciendo el concreto más denso y haciendo uso de la cantidad de cemento apenas necesaria para la unión.



Para resistencias no mayores de unos  $350 \text{ kg/cm}^2$ , la calidad mecánica del agregado grueso no es determinante; el agregado suele estar compuesto por partículas de rocas cuyas resistencias a compresión exceden los  $700 \text{ kg/cm}^2$  que es una resistencia a la compresión superior que la de la pasta y, en este caso, lo que trabaja es la pasta. Para estos casos sí importa una buena graduación de agregados grueso y fino y la garantía de que estos agregados no sean químicamente activos, así como su forma y textura <sup>(32)</sup>. En este nivel, los agregados tienen un módulo elástico superior que el de la matriz cementante, por lo que pueden causar concentración de esfuerzos y consecuentemente micro grietas que reducen la capacidad a la compresión <sup>(41)</sup>.

Para resistencias superiores, se requiere que los agregados sean resistentes a las cargas de compresión, tenaces (capaces de resistir cargas de impacto) y duros (resistentes al desgaste abrasivo). Es decir, la resistencia intrínseca de los agregados adquiere mayor relevancia y también aquellos aspectos que determinan su adherencia con la pasta. Esto porque el concreto producido es más homogéneo; pasta y agregados tienen propiedades similares, como el módulo de elasticidad <sup>(32 y 37)</sup>. En algunos estudios se demuestra que para concretos con relaciones A/C bajas, los agregados de procedencia ígnea generan concretos más resistentes que otro tipo de agregados <sup>(31)</sup>.

También se debe considerar que la forma de curar los elementos de concreto fabricados también incide en la resistencia.

Existen una serie de factores que afectan la medida de la resistencia de un concreto: el tamaño de la muestra, la forma de la muestra, las condiciones de moldeo, la temperatura de la muestra, el contenido de humedad de la muestra, el acabado de la superficie y la velocidad de aplicación de la carga <sup>(45)</sup>.

### 3.2.2 Durabilidad

La durabilidad de un concreto está influida por: limpieza (contenido de materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables), absorción y porosidad, textura superficial de agregados, reactividad de los agregados con los álcalis, resistencia a la abrasión de agregados y contenido de partículas friables y terrones de arcilla. El agua que se ha de utilizar para estos concretos debe ser libre de álcalis, ácidos, sales y materia orgánica.



### **3.2.3 Resistencia al desgaste <sup>(30)</sup>**

La resistencia al desgaste abrasivo es la capacidad que tiene una superficie de concreto para resistir fricciones o frotaciones. Debido a que existen diversas formas de abrasión (tránsito de vehículos o personas, paso del viento o agua u otros flujos), no se ha encontrado un método estándar que contemple todas estas formas.

Sin embargo, se ha determinado que la resistencia del concreto a la abrasión está en función de la resistencia a la compresión, las propiedades del agregado, el acabado y el curado. Experimentalmente, se ha probado que el factor aislado que más controla la resistencia a la abrasión del concreto es la resistencia a la compresión del propio concreto como un todo, es decir, a mayor resistencia a la compresión mayor es la resistencia a la abrasión. En segundo orden, la resistencia a la abrasión de los agregados, fino y grueso, que están en la superficie del concreto también tiene influencia sobre la capacidad al desgaste del concreto; los agregados gruesos duros y resistentes son preferibles y los agregados finos con cantidades importantes de sílice en partículas de gran tamaño ayudan a hacer más lenta la tasa de desgaste y a mejorar la resistencia al derrape a baja velocidad.

La calidad de los agregados gruesos utilizados en concretos expuestos a alto desgaste es importante. El efecto de las diferencias de dureza entre uno y otro agregado es más evidente en concretos de baja resistencia y es menor en concretos de alta resistencia.

### **3.2.4 Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad es el cambio de esfuerzo respecto de la deformación elástica, o sea, es la pendiente del tramo inicial de la curva esfuerzo - deformación unitaria de un concreto. Representa lo un material resiste a ser deformado. Es importante calcularlo para aproximar las deformaciones en los elementos estructurales y para medir deformaciones en sendos elementos estructurales <sup>(4 y 35)</sup>.

Para determinar experimentalmente el valor del módulo de elasticidad y la razón de Poisson se realiza el procedimiento dictado en la norma ASTM C-469-02. Básicamente se trata de colocar galgas extensométricas al cilindro de prueba y medir deformaciones en incrementos de resistencia.



Es posible aproximar el módulo elástico mediante relaciones experimentales y teóricas en función de la resistencia a compresión del concreto. Para concretos normales, se ha demostrado que existe una buena correlación, ya que son los mismos parámetros los que influyen al mismo tiempo en el esfuerzo a compresión y en el módulo de elasticidad <sup>(4)</sup>.

### 3.2.5 Densidad del concreto

La densidad del concreto se puede determinar siguiendo el procedimiento dictado en la norma ASTM C-567-04. Con ello se logra calcular (ya sea por un método experimental o por una aproximación) la densidad del concreto seco al horno y la densidad de equilibrio (condiciones de humedad relativa de 50 %  $\pm$  5 % y temperatura de 23°C  $\pm$  2°C).

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2 240 kg/m<sup>3</sup> y 2 400 kg/m<sup>3</sup>. El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado <sup>(47)</sup>.

### 3.2.6 Módulo de ruptura

La resistencia a la tensión de un concreto se mide por medio del módulo de rotura, que es el esfuerzo de tensión por flexión calculado a partir de la carga de fractura de una viga de prueba de concreto <sup>(35)</sup>. Hay dos formas experimentales que permiten calcular el módulo de rotura: cargando la viga en el punto central (norma ASTM C-293-02) y cargando la viga en los tercios medio (norma ASTM C-78-02).

El concreto es débil en tensión y las grietas que ocurren en el concreto son causadas por fallas a tensión y por eso es que es importante estudiar el módulo de rotura.

La resistencia a la tensión no posee una buena correlación con la resistencia a la compresión. Al parecer, la resistencia a la tensión para concretos normales fabricados con arena y grava depende principalmente de la resistencia de la unión entre la pasta y agregado, y, para concretos livianos, depende ampliamente de la resistencia a la tensión de los agregados porosos. Por tanto, las resistencias a la tensión y a la compresión no



son proporcionales y cualquier incremento en la resistencia a la compresión está acompañado por un incremento porcentual mucho menor en la resistencia a la tensión, pues se asocia que esta tensión es proporcional con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión <sup>(35)</sup>. Usualmente, el valor de la resistencia a tensión de un concreto está entre un octavo y un décimo de la resistencia a compresión <sup>(37)</sup>.



## Capítulo 4

### Descripción del trabajo experimental

En el presente capítulo se expone el programa experimental que se desarrolló para cumplir los objetivos detallados en el Capítulo 1.

En los tres primeros apartados se describe el tipo de agregados y cemento utilizados, mientras que en las últimas secciones se presenta una descripción general de las actividades que se completaron a lo largo de todo el proyecto.

#### 4.1 Elección de las fuentes de agregados

Dos de los antecedentes relacionados con el presente tema de proyecto son los proyectos de Fabio Ulate Retana y José Pablo De Mézerville que tienen el mismo nombre "Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en la calidad de mezclas de concreto". En cada uno de estos dos proyectos, se estudiaron las características de cuatro agregados gruesos nacionales, dos de tajo y dos de río.

Como una forma de darle seguimiento y profundización a estudios anteriores, se decidió seleccionar los agregados de tajo mencionados en las tesis anteriores. Los agregados gruesos de tajo son agregados que se consideran más críticos que los de río en CMR, por cuanto poseen características (contenido de finos y mayor desgaste por abrasión, por ejemplo) tales que han de producir concretos de menor resistencia que aquellos provenientes de río.

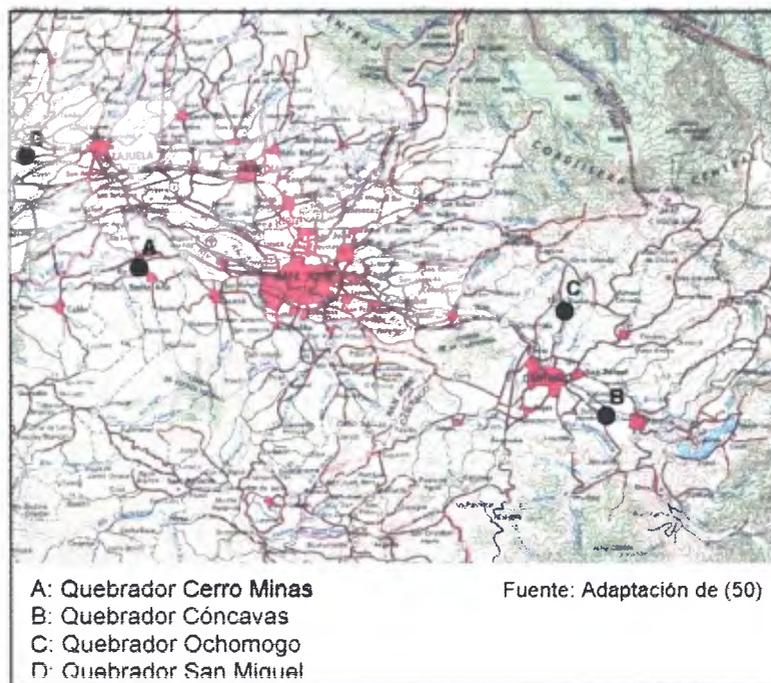
Los agregados que se escogieron son los siguientes:

- Agregado grueso del Quebrador Cerro Minas
- Agregado grueso del Quebrador Cóncavas
- Agregado grueso del Quebrador Ochomogo
- Agregado grueso del Tajo El Polvorón (Quebrador San Miguel)
- Agregado fino Guápiles

Por su ubicación, cada uno de los agregados seleccionados constituye un producto de gran consumo en las construcciones del Valle Central, por lo que este estudio trata de ampliar el análisis de agregados comúnmente usados.



En la Figura No. 4.1 se muestra la ubicación de los quebradores de donde procede cada uno de los agregados seleccionados.



**Figura No. 4.1**  
Ubicación de las fuentes de agregados escogidas

## 4.2 Descripción de los agregados

### 4.2.1 Agregado del Quebrador Cerro Minas

El Quebrador Cerro Minas está ubicado en Santa Ana, San José. Tiene la capacidad de producir 1100 a 1200 m<sup>3</sup>/día de producto terminado, tal como piedras cuarta, cuartilla, quintilla, arena industrial, bases granulares, lastres y piedra bruta para gaviones <sup>(40)</sup>.

El material que se utilizó en este proyecto es cuartilla de primera calidad, es decir, con tamaño nominal máximo de 19 mm y con bajo porcentaje de abrasión. Como se observa en la Figura No. 4.2, es un agregado que contiene partículas de color grisáceo con tonos morado y rosado, y tiene pequeñas vetas moradas, rojas y amarillas. Están cubiertas de un fino polvo (similar a un talco) del mismo color, que, como se verá en el siguiente capítulo, no representa una cantidad superior al 1%. Su textura es áspera y su

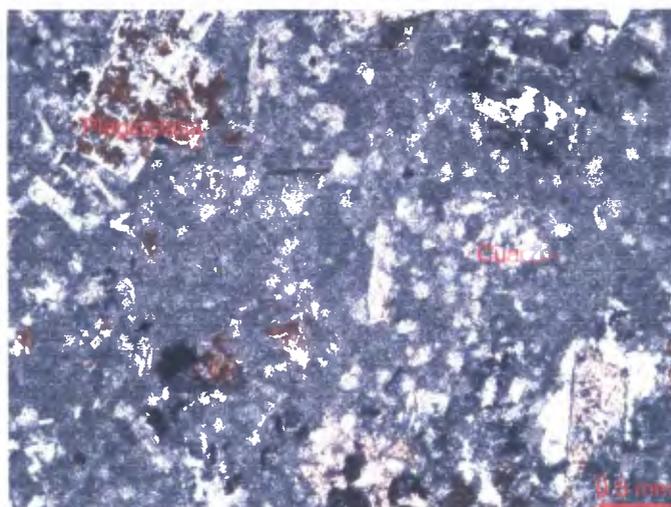


forma es angulosa o quebrada, lo que permite la intrusión de la pasta, o bien, un buen agarre entre pasta y agregado. El material viene prelavado y no presenta ningún olor particular.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.2**  
Agregado grueso tipo Cerro Minas  
(tamaño máximo nominal de 19 mm)



Fuente: Referencia (44)

**Figura No. 4.3**  
Sección delgada del agregado grueso tipo Cerro Minas



Se extrae de la roca volcánica, andesitas e ignimbritas, las cuales son resultado de erupciones volcánicas <sup>(40)</sup>. El material surge por la compactación de ceniza volcánica <sup>(18)</sup>.

Se trata de una andesita muy silicificada y carbonatizada. Está compuesta de, aproximadamente, 8% de fenocristales de plagioclasa, la mayoría completamente alterados a carbonatos y sercita y microfenocristales de magnetita (menos del 2%). La matriz presenta una textura criptocristalina y se encuentra muy silicificada y con impregnación de calcita <sup>(44)</sup>. Ver Figura No. 4.3.

#### **4.2.2 Agregado del Quebrador Cóncavas**

Es un agregado extraído del Quebrador Las Cóncavas, ubicado carretera a Paraíso de Cartago. En este sitio, se extraen lavas andesíticas, que pertenecen al Macizo del Irazú, para producir agregados para la construcción como piedra cuartilla, chorro, polvo de piedra y lastre para caminos <sup>(8)</sup>.

El material que se utilizó en este proyecto es cuartilla. Es un agregado de color gris oscuro y café, anguloso y de textura rugosa, lo que en teoría, facilita el agarre con la pasta (ver Figura No. 4.4). Se puede decir que la mayor parte del lote analizado consiste en un agregado grueso duro y resistente al desgaste. Sin embargo, algunas de las piedras contienen partículas blancas y cristalinas que, al contacto con el agua, fácilmente se degradan y hasta pueden generar en planos de falla importantes, lo que constituye una debilidad del agregado.

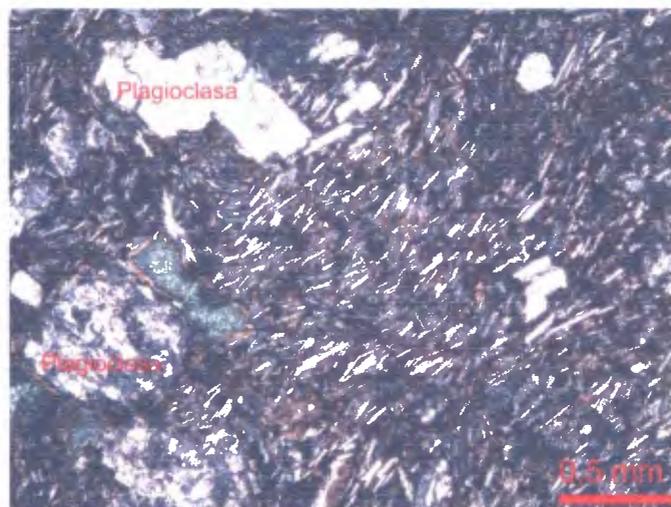
Al lavar el material, el agua queda curtida (negra), dejando gran cantidad de finos en el agua, como se puede notar en las tablas de resultados y como se analizará en el siguiente capítulo. No presenta ningún olor particular.

El análisis de una partícula en sección delgada, revela que este agregado es andesita alterada. Presenta fenocristales de plagioclasa, casi completamente alterados, a una mezcla de albita, calcita, zeolitas y arcillas y vesículas rellenas con nontronita mezclada con un poco de clorita y limonita (todos minerales secundarios de relleno). Esto se ilustra en la Figura No. 4.5.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.4**  
Agregado tipo Las Cónavas  
(tamaño máximo nominal de 19 mm)



Fuente: Referencia (44)

**Figura No. 4.5**  
Sección delgada del agregado tipo Las Cónavas

La matriz consiste de cristales pequeños de plagioclasa mas o menos sana, fantasmas de piroxenos completamente alterados a carbonatos, magnetita y una impregnación fuerte de arcillas-nontronita y calcitas, formados probablemente a partir del vidrio <sup>(44)</sup>.



#### 4.2.3 Agregado del Quebrador Ochomogo

Es un agregado que proviene del Quebrador Ochomogo, situado carretera a Llano Grande de Cartago. Este sitio tiene la capacidad de producir 1000 a 1200 m<sup>3</sup>/día de material: cuartilla, polvo de mezcla, arena, base granular, lastre y gravilla. El material del que se extrae el agregado corresponde, litológicamente, a fragmentos y arenas volcánicas. Resulta de un depósito aluvio lahárico compuesto por una matriz arenosa.

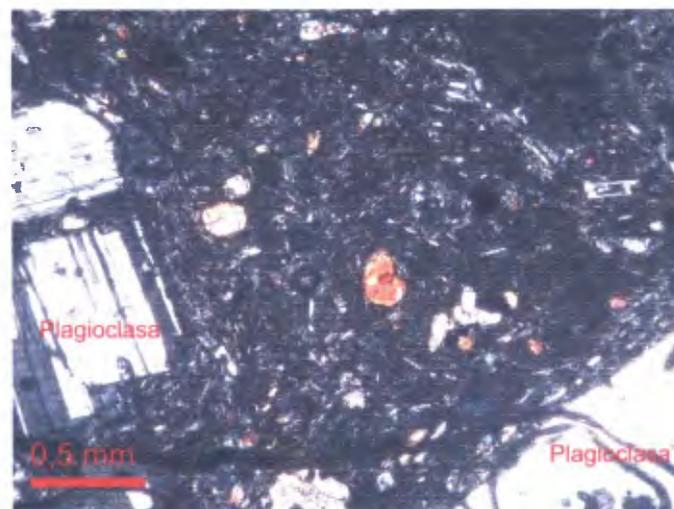
La piedra cuartilla, utilizada para este proyecto, es comúnmente ocupada para concretos con resistencia no mayor de 210 kg/cm<sup>2</sup> y se recomienda su uso prudente en concretos expuestos pues puede presentar oxidación <sup>(40)</sup>.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.6**

Agregado tipo Ochomogo (tamaño máximo nominal de 19 mm):



Fuente: Referencia (44)

**Figura No. 4.7**

Sección delgada del agregado tipo Ochomogo



Es un agregado que tiene piedras de diferentes colores: blancas, amarillas, naranjas, grises, rojas, negras y combinaciones de estos colores, siendo un material heterogéneo, como se nota en la Figura No. 4.6. Presentan un polvo fino color amarillo, semejante a la arcilla. Las partículas más oscuras (negras, grises y marrones) tienen algunas irregularidades o rugosidades, mientras que las partículas más claras tienen caras que son lisas (como devanadas) o algunas son hasta redondeadas.

Al lavar el material, se siente cierto olor, y además deja una sensación resbalosa en las manos, posiblemente debido a la presencia de partículas arcillosas.

El análisis geológico de sección delgada <sup>(44)</sup>, se realizó para dos tipos de piedra contenidos dentro del mismo lote de agregado con que se trabajó. La primera piedra de análisis es de blanca a anaranjada, con superficie más o menos lisa y es una muestra completamente alterada a arcillas con limonita.

La segunda piedra de análisis, físicamente es de gris a negra y posee textura rugosa. Es una andesita basáltica sana que contiene un 27% de fenocristales: 18% de plagioclasa sana, 8% de augita, 1% de hipersteno y menos de 1% de olivino. La matriz conforma el 73% restante y está compuesta por mucha plagioclasa y vidrio, poca magnetita y augita. Esta muestra es la que se observa en la Figura No. 4.7.

#### **4.2.4 Agregado del Quebrador San Miguel (Tajo El Polvorón)**

El Tajo El Polvorón está ubicado en la provincia de Alajuela, en Santa Rita de Turrúcares, camino a Ciruelas.

Es un agregado de color gris oscuro, y contiene partículas en cuyas caras se nota una delgada lámina de material de color rojo, naranja o amarillo. Es un material áspero de textura, y con forma angular y alargada; algunas caras de las partículas se manifiestan devanadas. Estas características se observan en la Figura No. 4.8. Se utilizó piedra cuarta, es decir, con un tamaño nominal máximo de 25 mm. Presenta un poco de polvo y no tiene ningún olor en particular.

Geológicamente, consiste en andesita alterada. La sección analizada presenta un megacristal de homblenda alterado a magnetita (7 mm x 1 mm) y 10% de fenocristales de plagioclasa. La matriz está compuesta por plagioclasa, granos de magnetita, homblenda y, como minerales secundarios, se presenta una impregnación de cuarzo y calcita <sup>(44)</sup>. Ver la Figura No. 4.9.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.8**  
Agregado tipo El Polvorón (tamaño máximo nominal de 25 mm)



Fuente: Referencia (44)

**Figura No. 4.9**  
Sección delgada del agregado tipo El Polvorón

#### 4.2.5 Agregado fino Guápiles

Este material es extraído del río Sucio en Guápiles. Es comercializado por Agregados La Roca, a través de la Distribuidora del Norte, ubicada en Tibás.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.10**  
Agregado fino tipo Guápiles

El agregado viene prelavado y contiene partículas de forma irregular con bordes redondeados que son de diversos colores: la mayoría son grises y café (claro y oscuro) pero también hay naranjas y blancas. La Figura No. 4.10 muestra el material utilizado. Contiene materia orgánica, como ramas pequeñas y raíces secas. No presenta ningún olor en particular y aparentemente está limpio.

### 4.3 Cemento y agua utilizados

Se utilizó cemento Holcim tipo I MP, el cual es frecuentemente utilizado en muchas de las construcciones en el país. Es elaborado en la planta en Aguacaliente de Cartago. Cada saco contiene 50 kg.

Se utilizó agua potable, la disponible en el laboratorio.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.11**  
Cemento utilizado en el Proyecto:  
Tipo I MP



## 4.4 Procedimiento seguido para desarrollar el Proyecto

En los siguientes apartados se detallan las actividades seguidas para poder completar las pruebas de laboratorio realizadas en este proyecto. Una síntesis del procedimiento seguido se muestra en el Anexo No. 1. Adicionalmente, en los Anexos No. 2 y No. 3 se presenta un listado del equipo utilizado para desarrollar las pruebas y un listado de las normas ASTM utilizadas en el proyecto, respectivamente.

### 4.4.1 Almacenamiento del material

Al recibir el material grueso en las instalaciones del laboratorio, éste se apiló en un montículo y se trató de homogenizar con una pala para luego introducirlo en sacos. Ante la poca disponibilidad de espacio en el laboratorio, cada uno de los cuatro tipos de agregado se almacenó en 12 sacos, numerados y rotulados, que contenían unos 70 kg de material. Se estibarón no más de 4 sacos en una tarima separada del suelo unos 10 cm. Se hallaban parcialmente bajo techo, pero se les colocó un plástico negro para evitar cambios bruscos de la humedad y para prevenir contaminación. En la Figura No. 4.12 se muestra un detalle de lo expuesto.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.12**  
Almacenamiento de agregados gruesos

La arena se guardó en un solo saco cerrado que contenía unos 1000 kg. Estaba colocado bajo techo, por lo que estaba resguardada de agentes como agua y viento que podrían causar segregación, pérdida de finos o contaminación con alguna otra sustancia.

El cemento se almacenó en una bodega en bolsas plásticas selladas con adhesivo. Se colocó en una tarima separada del piso unos 10 cm, estibando no más de 4



sacos por hilera y cuidando que los sacos estuvieran separados de la pared. Estuvieron resguardados por no más de 5 meses y siempre se presentó seco, fino y sin grumos.

#### **4.4.2 Selección del material para pruebas**

Para la determinación de las características principales de los agregados (gravedades específicas, granulometría, cantidad de partículas friables y abrasión), se decidió tomar de cada uno de los 12 sacos disponibles una muestra de la parte central de cada saco. Esto por cuanto se consideró que en esa sección se tendría el material representativo; en la parte superior se concentran las partículas más gruesas y además las partículas más finas, por gravedad, llegan a la parte inferior.

Con un cucharón, se tomó una cantidad igual de cada saco, completando unos 50 kg de material. Esto se cuarteó con cuarteador mecánico o con una lona, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C-702-98. Se cuarteó sucesivamente hasta llegar a la cantidad de muestra requerida para desarrollar los experimentos, según el tamaño nominal máximo de cada agregado (estas cantidades se indican en cada una de las normas ASTM correspondientes con cada prueba).

En el caso de la arena, ésta se muestreó directamente del saco donde estaba colocada, tratando de introducir plenamente el cucharón, hasta obtener una muestra de unos 10 kg. Se cuarteó con cuarteador mecánico.

Para la realización de las pruebas al cemento, se escogieron 3 sacos al azar (de diferente ubicación) de los cuales se extrajo una muestra similar del puro centro del saco. Las tres muestras se revolviaron, tratando de homogenizar el material y esto fue lo que se utilizó para la desarrollar las pruebas de caracterización normales. Esto resulta una analogía respecto de la selección del material para realización de las mezclas de concreto.

#### **4.4.3 Pruebas de caracterización de materiales**

Para tener una idea clara de con qué tipo de material se contaba, se decidió analizar, de primero, las características físicas de cada uno de ellos. Se decidió comenzar con la prueba de porcentaje de finos que pasan la malla 200 (ASTM C-117-03), a la que le siguió la prueba de granulometría (ASTM C-136-01). Es decir, para el análisis



granulométrico, se trabajó con material lavado y seco, obtenido después de la prueba de cantidad de finos.

Para tener los datos básicos para poder llevar a cabo el diseño de mezcla, seguidamente, se preparó y se completó las pruebas de pesos específicos y absorción (ASTM-127-01) y pesos unitarios (ASTM C-29-97).

Finalmente, a los agregados gruesos se les realizó las pruebas de abrasión, tipo B, en máquina Los Ángeles (ASTM C-131-03) y la de contenido de partículas friables y arcillosas (ASTM C-142-97). Adicionalmente, a la arena se le practicó la prueba de colorimetría (ASTM C-40-04) para considerar su calidad.

Al cemento se le realizaron las siguientes pruebas: consistencia normal (ASTM C-187-98), tiempo de fraguado (ASTM C-191-04), gravedad específica (ASTM C-188-95), resistencia a compresión de mortero con arena estándar (ASTM C-29-97) y con arena tipo Guápiles y, finura mediante permeámetro de Blaine (ASTM C-204-00).

#### **4.4.4 Elaboración de mezcla de concreto**

##### **➤ Preparación del material**

Para llevar a cabo las mezclas de concreto, primero se debió preparar el material; se seleccionó la piedra (como se describió antes) y la muestra representativa se colocó en baldes de unos 15 kg a 20 kg. La arena, como se explicará en el análisis de resultados, se debió preparar tamizándola por una malla #4 (ASTM), eliminando el material retenido para corregir la granulometría, y se colocó en baldes.

Una semana antes de las batidas se procedió a tomar la humedad de los materiales, para controlarla hasta donde fuera posible, para corregir por humedad los diseños de mezcla y tomarlo en cuenta en la dosificación de materiales.

Se pesó el material (agregados, cemento y agua) en una balanza y se taparon, mientras se colocaban en la batidora para que no se contaminaran o para que no se perdieran partículas.

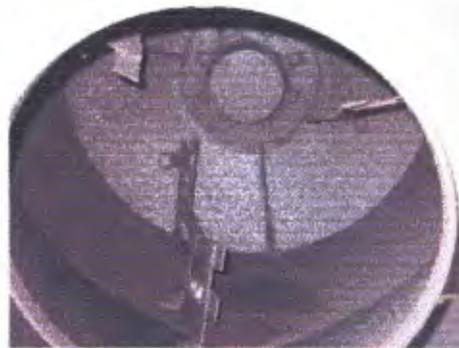
##### **➤ Batidas**

Se realizaron dos batidas para cada uno de los diseños de mezcla (un diseño por cada tipo de agregado grueso). El primero se hizo para un volumen de  $0,0424 \text{ m}^3$  de concreto y consistió en una batida de prueba para examinar la trabajabilidad que se



obtendría y aproximar la cantidad de agua que se debería agregar para que la mezcla fuera fácil de colocar en los moldes. La segunda batida fue de un volumen de 0,212 m<sup>3</sup> de la cual se pudo completar 30 cilindros de 15 cm x 30 cm y 2 vigas de 15 cm x 15 cm x 53 cm (moldes previamente engrasados).

La batidora se curó utilizando, aproximadamente, 2 kg de arena, 1 kg de cemento y añadiendo agua hasta obtener un mortero muy fluido que embarrara las paredes de la máquina. Se eliminó el exceso.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.13**  
Curado de batidora (ASTM C-192)

Las batidas de mezcla se llevaron a cabo según la norma ASTM C-192, colocando el agregado grueso y la mitad del agua en la batidora apagada. Luego se puso en funcionamiento por 3 minutos en los cuales se agregó la arena, el cemento y el agua restante. Se dejó reposar por 3 minutos, tapando con un paño la batidora, y luego se batió por 2 minutos más. Al concluir esto se realizó la prueba de revenimiento, para finalmente batir por 2 minutos más.

#### ➤ *Prueba de revenimiento*

Para efectuar la prueba de revenimiento se siguió la norma ASTM C-190. Entonces se humedecieron las paredes internas del cono y la base. Luego de esto, se colocó el material en el cono, en tres partes de igual volumen, las que se compactaron con 25 golpes, procurando seguir una espiral. Se levantó el molde en forma vertical y se midió el revenimiento (ver Figura No. 4.14).



Fuente: Autor

**Figura No. 4.14**

Ejemplo de prueba de revenimiento para una mezcla seca (ASTM C-190)

➤ *Fabricación de cilindros*

Las porciones de mezcla se acarrearón en un carretillo, del sitio de la batidora a donde estaban ubicados los cilindros. Para llenarlos adecuadamente se siguió la norma ASTM C-192; se compactó cada una de las tres capas con 25 golpes generados por una varilla lisa, se golpearon las paredes externas de los moldes con un mazo de hule, se enrasó y se le dio un acabado liso a la parte superficial. Los cilindros son de acero con dimensiones 15 cm x 30 cm.

➤ *Fabricación de vigas*

Al igual que para los cilindros, la mezcla se llevó en carretillo hasta donde se situaban los moldes y para llenarlos adecuadamente, se compactó en dos capas con 25 golpes utilizando una varilla lisa (norma ASTM 192). Las paredes externas se golpearon con un mazo de hule y, finalmente, se le dio un acabado parejo a la superficie.

➤ *Desmolde y curado*

Los cilindros se desmoldaron 24 h después de haber fabricado los cilindros, se rotularon indicando la fecha de fabricación y el tipo de piedra y seguidamente se introdujeron en la cámara húmeda hasta los días de capeo y los días de falla. La cámara de humedad posee un 90% de humedad relativa y una temperatura de 21°C, aproximadamente.



#### ➤ *Capeo de cilindros*

El capeo de los cilindros consistió en colocar una delgada capa, no mayor de 3 mm de espesor, en las zonas donde habría de aplicarse la carga de compresión. Esto para garantizar que la carga fuera aplicada en toda el área del cilindro y evitar la concentración de esfuerzos.



Fuente: Autor

**Figura No. 4.15**  
Proceso de capeo de cilindros

Se utilizó una mezcla de capeo conformada por 1 parte de yeso y 3 partes de cemento (Aricem). La mezcla fluida se coloca en el cilindro utilizando moldes, los cuales tienen la función de ayudar a nivelar el capeo y proporcionar un acabado liso.

#### **4.4.5 Falla de cilindros y vigas**

Los cilindros se fallaron a los 3, 7, 28 y 56 días a compresión uniaxial, en la Máquina Universal disponible (ver Anexo No. 2).

Las vigas se fallaron a una edad de 56 días. Se siguió la norma ASTM C-78-02, que se refiere a la falla a flexión de vigas, aplicando cargas en los tercios medios.

#### **4.4.6 Elaboración de base de datos**

Como se citó en el Capítulo I, un objetivo del proyecto es elaborar una base de datos que contenga información referente a las características de agregados (grueso y fino), cemento y concretos utilizados, anteriormente, en diferentes proyectos de investigación disponibles, tanto de la Universidad de Costa Rica como del Instituto Tecnológico de Costa Rica



Para completar dicha base, primero se debió plantear cuáles son las características que interesan por lo que se elaboró una tabla preliminar. Además, se realizó una lista preliminar de las fuentes bibliográficas que podrían ser utilizadas, tomando en cuenta la revisión de unos 80 documentos.

De las fuentes consultadas preliminarmente, solo se tomaron en cuenta aquellas elaboradas a partir del año 1984, que contienen resultados experimentales y que le dan importancia a la resistencia a compresión del concreto. No se tomaron en cuenta aquellas referentes a morteros, a pesar de que contienen información valiosa en cuanto a características de arena y cemento.

La base de datos completada se muestra en el Anexo No. 8.



## Capítulo 5

### Análisis de resultados

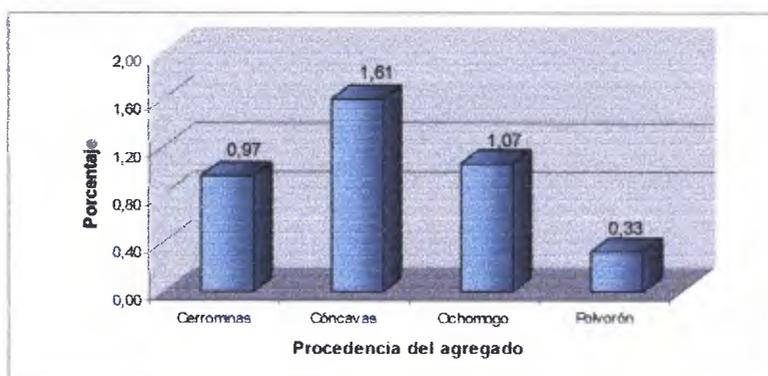
En este capítulo se analizan los resultados experimentales obtenidos respecto de agregados, cemento y concreto. Los detalles de dichas pruebas se muestran en los Anexos No. 4 (Características de los agregados), No. 5 (Características del cemento) y No. 6 y No. 7 (Concretos elaborados).

#### 5.1 Agregado grueso

##### 5.1.1 Porcentaje de finos pasando la malla #200 (ASTM C-117)

En el Gráfico No. 5.1 se puede apreciar el porcentaje de partículas, con tamaño inferior a  $75\ \mu\text{m}$ , contenidas en una muestra representativa de cada lote de material con que se trabajó. En el Anexo No. 4 se muestra el detalle experimental.

El agregado Cóncavas es el que contiene la mayor cantidad de finos, pues posee 1,61%. Como se mencionó en la descripción hecha en el Capítulo 4, esto, posiblemente, se deba a que parte del material incluye porciones blandas, fácilmente degradables con el agua, por lo que a la hora de hacer la prueba de lavado en la malla #200, parte del material se deshace y se aumenta la cantidad de finos contenida.



**Gráfico No. 5.1**  
Porcentaje de finos pasando la malla #200 ASTM según el tipo de agregado



El agregado proveniente de Cerro Minas presenta un fino polvo que cubre superficialmente el material, producto quizá del proceso de trituración de la piedra; sin embargo, esta cantidad es apenas 0,97%. En tanto, el agregado procedente de Ochomogo contiene un 1,07% de material, más bien arcilloso, que se incrusta en las irregularidades de las piedras. Estos materiales ya vienen lavados previamente.

Finalmente, el agregado tipo Polvorón es el que contiene menor cantidad de finos que, aparentemente, es suelo café (tal vez limos).

Por lo tanto, se puede decir que los agregados de Cerro Minas y Polvorón cumplen con la especificación ASTM C-33-03 que considera el valor de 1% el límite máximo de material fino pasando la malla #200. El agregado de Ochomogo sobrepasa muy levemente ese valor, en tanto que el agregado de Cóncavas no lo cumple.

Sin embargo, también hay que aclarar que en la misma norma se indica que el límite máximo puede incrementarse a 1,5% en aquellos casos en que el agregado esté libre de arcilla y esquisto. Aún más, el límite se puede redefinir si el material fino utilizado para hacer el concreto contiene una cantidad inferior al límite tolerable de finos pasando la malla #200.

#### **5.1.2 Granulometría (ASTM C-136)**

Las curvas granulométricas obtenidas para cada tipo de agregado grueso se muestran en el Anexo No. 4. Para la elaboración de concretos del proyecto, se trabajó con el material natural, sin hacer corrección alguna.

Los agregados provenientes de Cerro Minas y Cóncavas no cumplen en un punto con la especificación; esto es, hay exceso de material retenido en la malla de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) pues en el primer caso se excede en un 3% y en el segundo un 9%. La curva granulométrica generada para el agregado de Ochomogo indica que se tiene menos de 1% de material retenido en exceso para la malla de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ). En estos tres casos, para el resto de puntos de la curva, se cumple satisfactoriamente con la especificación ASTM C-33 para cuartillas; se trabajó con un tamaño nominal máximo de 19 mm y un tamaño efectivo máximo de 25 mm para estos casos.

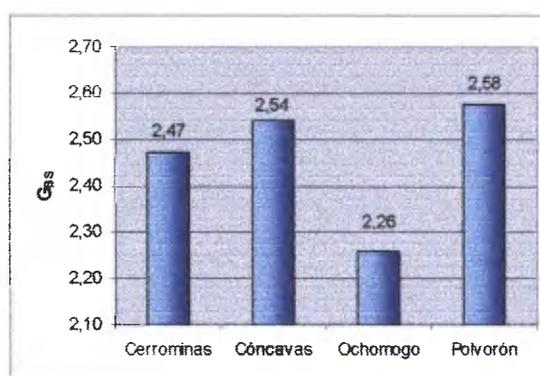
La curva granulométrica del material tipo Polvorón (cuarta) se encuentra dentro de especificaciones, por lo que puede decirse que tiene una buena graduación. El tamaño nominal máximo de este agregado es 25 mm y el tamaño máximo efectivo es 37 mm.



### 5.1.3 Gravedad específica y absorción (ASTM C-127)

En el Gráfico No. 5.2 se muestran los valores de gravedad específica obtenidos. El agregado tipo Ochomogo es el más liviano, con un  $G_{BS}$  de 2,26. Por tanto, se espera obtener, con este agregado, el concreto más liviano.

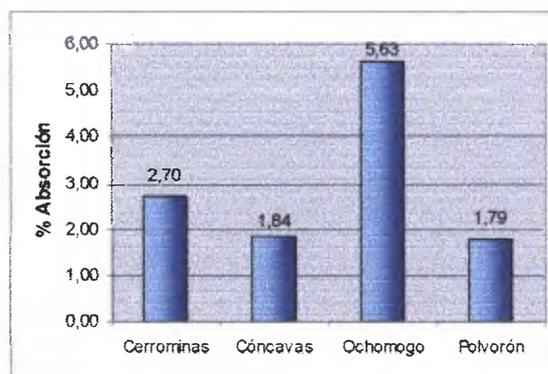
El agregado más pesado, de los cuatro diferentes tipos analizados, es el de Polvorón, el cual posee un  $G_{BS}$  de 2,58, y, en segundo lugar, el agregado tipo Cóncavas, con un  $G_{BS}$  de 2,54. Estos dos agregados junto con el de Cerro Minas ( $G_{BS}$  de 2,47) tienen pesos específicos comprendidos entre 2,4 y 2,8 que son los valores teóricos recomendados para producir concretos normales.



**Gráfico No. 5.2**

Valores de gravedad específica ( $G_{BS}$ ) obtenidos según procedencia del agregado grueso (ASTM C-127)

Los valores de gravedad específica tienen relación inversa con la absorción de los agregados pues a menor absorción, mayor gravedad específica. En el Gráfico No. 5.3, se compara el porcentaje de absorción obtenido según la procedencia del agregado.



**Gráfico No. 5.3**

Valores de porcentaje de absorción obtenidos según procedencia del agregado grueso (ASTM C-127)

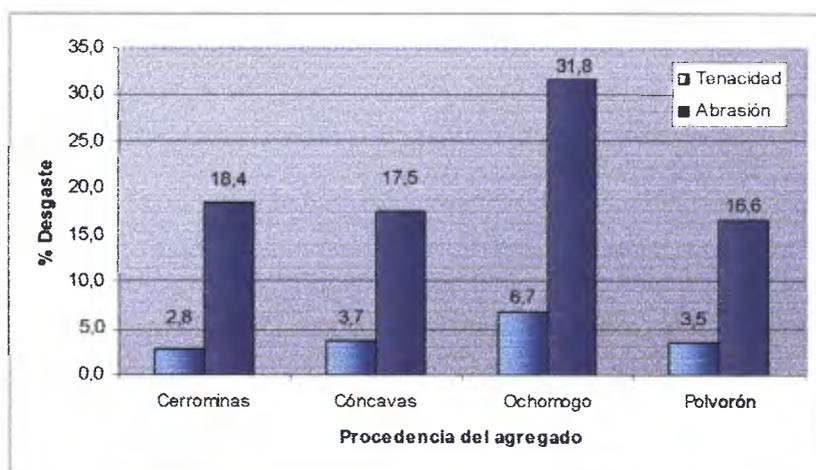


El agregado de Ochomogo tiene una alta absorción (superior a 5%), posiblemente, debido al contenido de finos y a la composición mineralógica del material, es un material muy poroso. Esto viene a ser un motivo para dudar de la capacidad del agregado para desempeñarse adecuadamente en el concreto.

Polvorón es el material con menor porcentaje de absorción, valor de 1,79%, mientras que Cóncavas y Cerro Minas tienen valores intermedios de 1,84% y 2,70%, respectivamente.

#### 5.1.4 Tenacidad y abrasión (ASTM C-131)

Los valores de tenacidad y abrasión para cada tipo de agregado analizado se muestran en el Gráfico No. 5.4. De éste se nota que el agregado con mayor desgaste a 100 revoluciones (tenacidad) y a 500 revoluciones (abrasión) en la máquina Los Ángeles es el de Ochomogo y el de menor desgaste a 500 revoluciones, es el agregado de Polvorón.

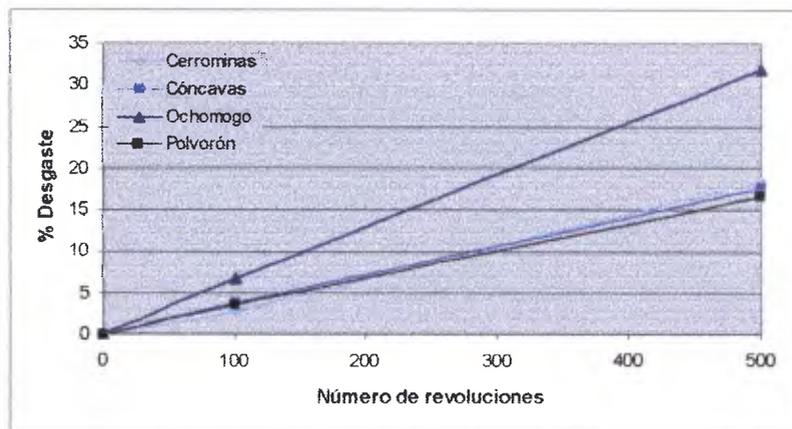


**Gráfico No. 5.4**  
Porcentaje de tenacidad y abrasión según la procedencia del agregado grueso (ASTM C-131)

Vale destacar que la relación tenacidad/abrasión es constante para tres de los cuatro tipos de agregados: Cóncavas, Ochomogo y Polvorón. Esto es, a las 100 revoluciones en la máquina Los Ángeles, se produce un desgaste cerca del 21% del valor de desgaste por abrasión que posee cada uno. A diferencia de éstos, el agregado de Cerro Minas presenta una proporción de 15%, es decir, además, en la fase inicial del

proceso de abrasión, se desgasta más lentamente que el resto de agregados, pero en la fase final se acelera, por lo tanto se considera un agregado no uniforme, es decir, la pérdida por abrasión no varía directamente con el número de revoluciones de la máquina. Adicionalmente, el Gráfico No. 5.5 ilustra que para valores inferiores que 200 revoluciones, para llegar a un valor determinado de desgaste, el agregado de Cerro Minas es capaz de absorber mayor cantidad de energía.

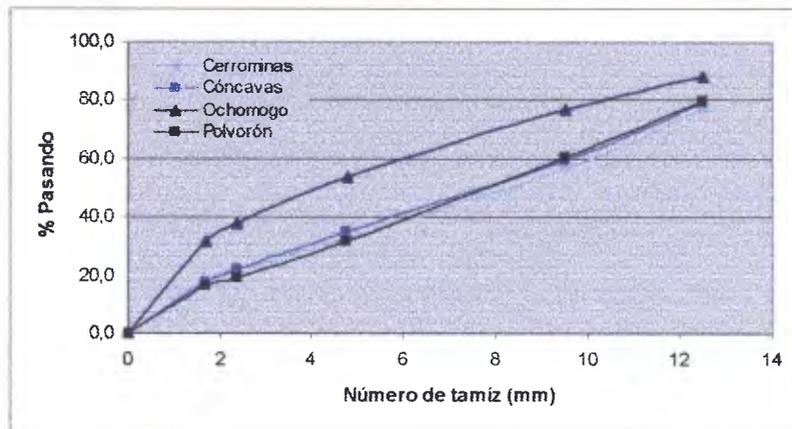
En ese mismo gráfico se evidencia que los valores de tenacidad y abrasión son similares para tres de los agregados: Cerro Minas, Cónccavas y Polvorón, mientras que los valores de tenacidad y abrasión del agregado de Ochomogo son superiores en casi 100%, respecto de los otros materiales.



**Gráfico No. 5.5**  
Porcentaje de desgaste contra el número de revoluciones dadas en Máquina Los Ángeles para cada tipo de agregado

El Gráfico No. 5.6 es la representación granulométrica del material remanente de la prueba en abrasión, es decir, el material retenido en la malla #12. El comportamiento que exhiben los gruesos provenientes de Cerro Minas, Cónccavas y Polvorón es similar, como se puede apreciar.

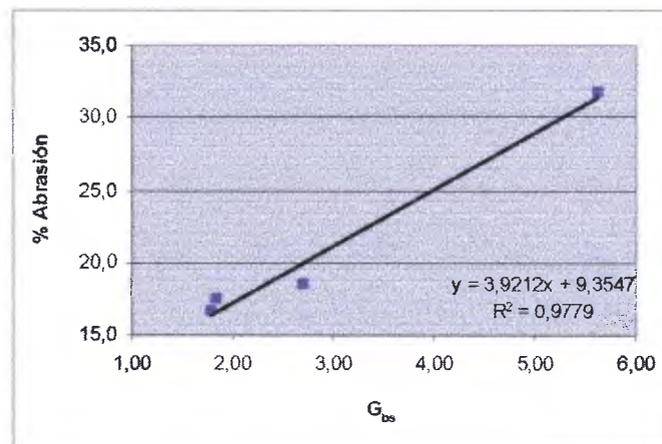
Luego del proceso de abrasión, el 50% del material de Cerro Minas es de tamaño superior a 8,3 mm. Para Cónccavas este valor es 7,8 mm y para Polvorón es 7,9 mm. En tanto, el valor correspondiente al agregado de Ochomogo es 4,1 mm, evidenciándose una vez más, el grado de desgaste que sufre este material.



**Gráfico No. 5.6**

Curva granulométrica remanente después del proceso de abrasión con base en material retenido en malla #12 ASTM

De acuerdo con los resultados obtenidos, existe relación directa entre la abrasión de los agregados y su absorción; a mayor absorción mayor desgaste, lo cual se ilustra en el Gráfico No. 5.7.

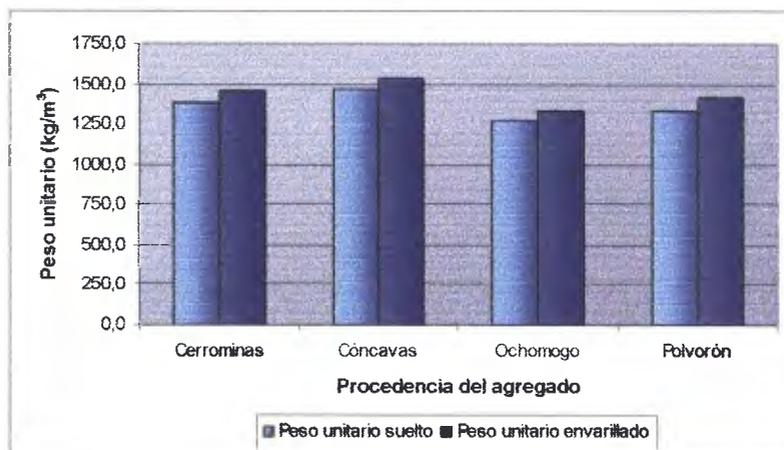


**Gráfico No. 5.7**

Relación entre abrasión y absorción de agregados estudiados

### 5.1.5 Peso unitario (ASTM C-29)

Los valores de peso unitario obtenidos para cada uno de los cuatro tipos de agregados en estudio se pueden clasificar como normales. En promedio, se obtuvo que el valor del peso unitario suelto es un 95% del valor del peso unitario envarillado, lo cual puede observarse en el Gráfico No. 5.8.



**Gráfico No. 5.8**  
Valores de peso unitario suelto y peso unitario envarillado según tipo de agregado grueso (ASTM C-29)

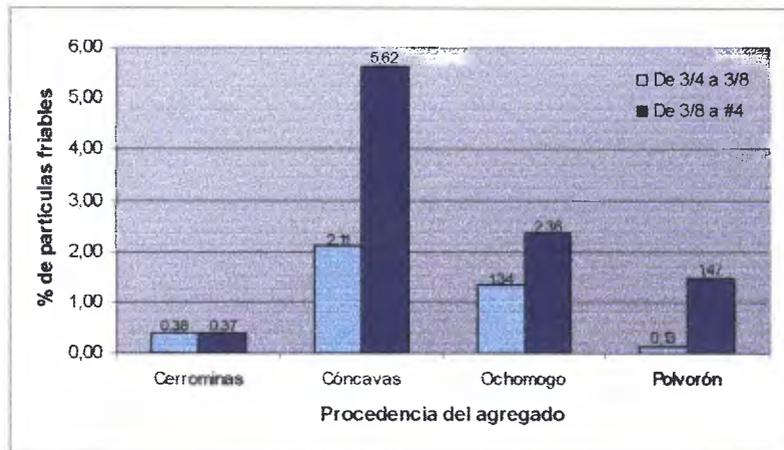
Se encontraron valores de peso unitario suelto y envarillado del agregado de Ochomogo de  $1\,273\text{ kg/m}^3$  y  $1\,335\text{ kg/m}^3$ , en tanto que el agregado con mayores pesos unitarios suelto y envarillado es el de Cóncavas, pues posee pesos de  $1\,464$  y  $1\,541\text{ kg/m}^3$ , respectivamente.

Existe una relación proporcional entre peso unitario y peso específico para los agregados, con excepción de Polvorón.

### 5.1.6 Contenido de partículas friables (ASTM C-142)

Para llevar a cabo la caracterización completa de los agregados gruesos, se realizó la prueba que valora el contenido de terrones de arcilla y partículas friables, esto es, se analizó la cantidad de partículas blandas que pueden deshacerse fácilmente con agentes como el agua.

Se analizaron dos tipos de muestra para cada tipo de agregado: aquella muestra de agregado que pasa la malla  $19\text{ mm}$  ( $\frac{3}{4}$ " ) y es retenida en la malla de  $9,5\text{ mm}$  ( $\frac{3}{8}$ " ) y otra muestra con tamaños comprendidos entre la malla de  $9,5\text{ mm}$  ( $\frac{3}{8}$ " ) y la malla  $4,75\text{ mm}$  ( $\#4$ ). Tomando en cuenta esto, se obtuvieron los resultados que se observan en el Gráfico No. 5.9.



**Gráfico No. 5.9**  
Porcentaje de partículas friables según procedencia del agregado grueso (ASTM C-142)

Para tres de los casos, es evidente que para tamaños de muestra comprendidos entre las mallas de 9,5 mm (3/8") y 4,75 mm (#4) se generan más partículas friables que para aquellos tamaños comprendidos entre 19 mm (3/4") y 9,5 mm (3/8").

En concordancia con lo expuesto en la descripción de los agregados en la sección 4.2 y en la sección 5.1.1, se puede notar que el agregado de Cóncavas posee el mayor contenido de partículas deleznable para las muestras analizadas. A excepción de la muestra de tamaños pequeños de agregado de Cóncavas, todos los demás casos tienen un porcentaje de partículas friables inferior a 3, lo cual es aceptable para agregados que se ocupan en concretos sujetos a condiciones de desgaste como pavimentos, puentes, aceras y pisos expuestos a condiciones de humedad; las normas ASTM especifican 3% máximo para concretos en regiones con problemas de humedad severa y 5% para zonas de moderada humedad.

Aunque, en teoría, la tenacidad también refleja la existencia de partículas blandas en un agregado determinado, en ninguno de los casos estudiados se observa relación entre el porcentaje contenido de partículas friables y la tenacidad ni la abrasión. En cambio, si se observa cierta relación entre el contenido de finos y la cantidad de partículas friables; a mayor cantidad de finos mayor cantidad de partículas friables.



### 5.1.7 Resumen de características de agregados gruesos

A manera de resumen, en la siguiente tabla se presentan las características físicas y mecánica, ya analizadas anteriormente, de las cuatro piedras de tajo en estudio.

**Tabla No. 5.1**  
Resumen de propiedades de agregados gruesos

	Cerro Minas	Cóncavas	Ochomogo	Polvorón
<b>Forma</b>	Irregular	Irregular	Irregular o redondeada (heterogéneo)	Alargada pero no laminar
<b>Textura</b>	Rugosa	Rugosa	Lisa o rugosa (heterogéneo)	Áspera
<b>% Finos (#200)</b>	0,97	1,61	1,07	0,33
<b>Granulometría</b>	Sale del lado grueso en 19 mm	Sale del lado grueso en 19 mm	Ajustada, pero en especificaciones	Cumple especificación para cuarta
<b>MF</b>	3,55	3,51	3,09	4,24
<b><math>\gamma</math> suelto (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	1 384	1 464	1 273	1 331
<b><math>\gamma</math> envarillado (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	1 458	1 541	1 335	1 419
<b><math>G_{bs}</math></b>	2,47	2,54	2,26	2,58
<b>% Absorción</b>	2,70	1,84	5,63	1,79
<b>% Abrasión</b>	18,4	17,5	31,8	16,6
<b>% Partículas friables*</b>	0,38 / 0,37	2,11 / 5,62	1,34 / 2,36	0,13 / 1,47

\* El primer valor se refiere a tamaños entre 19 y 9,5 mm y el segundo a tamaños entre 9,5 y 4,75 mm

## 5.2 Agregado fino

Como se dijo anteriormente, el único tipo de arena utilizado en este proyecto procede de Guápiles y es extraída del Río Sucio.

Como se aprecia en el Anexo No. 4, la arena en estado natural posee un módulo de finura de 3,23, por lo que se puede clasificar como una arena gruesa. La granulometría no cumple con la especificación ASTM C-33, pues contiene un exceso de material retenido en las mallas de 9,5 mm (3/8") y la de 4,75 mm (#4).

Por lo tanto, el material fino que se utilizó en la elaboración de concretos se debió corregir por granulometría, eliminando el material retenido en la malla de #4. Con esto se logró cumplir en todos los puntos la especificación granulométrica. Además, se logró



reducir el módulo de finura a 2,95 que corresponde con una arena medio gruesa, según la Tabla No. 2.2.

La gravedad específica de la arena es 2,52 y posee un porcentaje de absorción de 3,62%. Los valores de peso unitario suelto y envarillado son  $1580 \text{ kg/m}^3$  y  $1659 \text{ kg/m}^3$ , que son valores correspondientes con agregados normales.

De acuerdo con la prueba de colorimetría, esta arena contiene menos de 500 ppm de impurezas orgánicas, por lo que no se le atribuyen posibles efectos perjudiciales en el concreto debido a reacciones químicas adversas.

### 5.3 Cemento

El cemento utilizado en este proyecto es Tipo I MP de Holcim. El valor de gravedad específica que se obtuvo es  $2,84 \text{ g/cm}^3$ .

Para lograr la consistencia normal del cemento, se tuvo que agregar un 28,5% de agua, logrando una pasta trabajable. Usando esta cantidad de agua se practicó la prueba de tiempo de fraguado; el fraguado inicial se obtuvo a los 145 minutos y el fraguado final se logró a los 195 minutos. Estos tiempos cumplen con la norma nacional NCR 40:1990. Debido a que el tiempo de fraguado del concreto está estrechamente relacionado con el tiempo de fraguado del cemento, se puede decir que los resultados obtenidos, analizando solo los aspectos relativos a la calidad del cemento, garantizan que se tiene tiempo suficiente para colocar la mezcla de concreto.

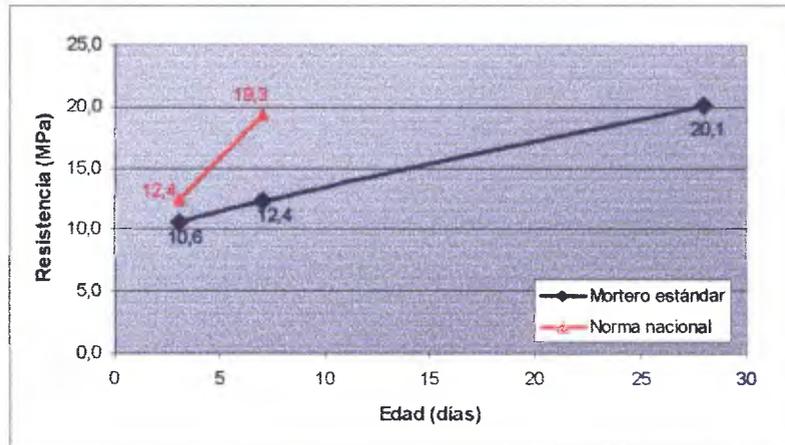
La prueba de finura de cemento se llevó a cabo utilizando el permeámetro de Blaine (ver limitaciones descritas en Capítulo I). Se obtuvo un valor de  $4\ 836 \text{ cm}^2/\text{g}$ , lo que indica que es un material sumamente fino. Es decir, es un cemento que se hidrata rápidamente y demanda mayor cantidad de agua para cubrir toda su área. Además, en detrimento de la resistencia del concreto, podría formar ligaduras inestables, que perjudican la unión a largo plazo de pasta y agregados.

Para la prueba de resistencia a compresión del mortero estándar (ASTM C-1437), se requiere de 50% de agua para producir un flujo de 114%. Con esto, se obtuvo la resistencia promedio que se muestra en el Gráfico No. 5.10.

En ese gráfico se puede ver que el cemento no cumple con la norma debida. Los resultados experimentales indican que la ganancia de resistencia a compresión es más lenta que lo que la norma especifica. Así, la resistencia que se requiere alcanzar a los tres



días se logra, más bien, a los siete días y la resistencia que el mortero con arena Ottawa debe tener a los siete días se supera hasta los 28 días.



**Gráfico No. 5.10**

Resistencia de mortero estándar (MPa) en función de edad (días) para cemento Portland tipo I MP Holcim (ASTM C-109)

Los valores de resistencia a compresión utilizando arena tipo Guápiles son 12,8; 16,7 y 27,9 MPa, para 3, 7 y 28 días respectivamente, que son mayores que los obtenidos con mortero fabricado con arena Ottawa. Esto posiblemente se deba a que la arena Ottawa es una arena inerte y redondeada, cuya función es dar volumen al mortero aislando las propiedades del cemento. En tanto, la arena tipo Guápiles, aparte de constituir una arena con una procedencia geológica diferente, contiene mayor cantidad de partículas irregulares, lo que hace que el cemento se adhiera más a las partículas.

## 5.4 Concreto

### 5.4.1 Diseño de mezcla

En la Tabla No. 5.1 se resume las proporciones y las relaciones A/C utilizadas para el diseño de mezcla (según procedimiento ACI-211); el detalle de estos diseños de mezcla se muestran en el Anexo No. 6. En el ese mismo anexo también se incluye la proporción por volúmenes masivos para cada tipo de mezcla.

Se debe aclarar que la proporción que se indica en esta Tabla corresponde a peso seco, la relación A/C teórica se refiere al diseño teórico de la mezcla, la relación A/C



usada se refiere a la cantidad de agua teórica más el agua extra adicionada por trabajabilidad en relación con la cantidad de cemento. Además, se muestra el diseño teórico, según tipo de agregado, para un  $f_c$  de  $360 \text{ kg/cm}^2$ , el cual no se ajustó para llegar a la resistencia deseada, pues no era un objetivo del proyecto.

La relación A/C (ACI) es bajo condición agregado saturado superficie seca. Se habla de peso de agua de dosificación y peso de agua de diseño para considerar la variación por la absorción de los agregados, más no se refiere a A/C con agua de absorción.

**Tabla No. 5.2**  
Características de las mezclas realizadas  
( $f_c=360 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_c=400 \text{ kg/cm}^2$ , teóricos)

Procedencia Piedra	Proporción (pesos secos)	A/C		A/C + %D	Revenimiento (Cono de Abrahams)	Comentario
		Teórica	Usada*			
Cerro Minas	1 : 1,41 : 1,90	0.43	0.45	0.49	10.0	Muy trabajable
Cóncavas	1 : 1,35 : 2,00	0.43	0.45	0.47	8.0	Trabajable
Ochomogo	1 : 1,40 : 1,74	0.43	0.45	0.50	7.5	Trabajable
Polvorón	1 : 1,50 : 2,05	0.43	0.45	0.47	6.0	Poco trabajable

\* Relación A/C considerando los agregados en condición saturada superficie seca

Para los cuatro casos en estudio se utilizó la misma relación A/C teórica y práctica (A/C usada). El hecho de que los agregados no han de quedar en condición saturada superficie seca en un lapso corto (menor a 30 minutos o el tiempo en que se lleva a cabo la batida y colocación), hace que parte del agua de absorción añadida funcione para dar cierta trabajabilidad a la mezcla.

Las trabajabilidades que se obtuvieron con cada una de las mezclas están estrechamente asociadas con el revenimiento. Así, las mezclas efectuadas con agregados de Cerro Minas y Cóncavas fueron las que ofrecieron la mejor facilidad para manipularlas y ser colocadas en los moldes. La mezcla que contiene agregado de Ochomogo fue menos trabajable que las dos mezclas antes mencionadas; esto puede deberse, principalmente, al contenido de finos y la alta y rápida absorción que posee.

Debido a las limitaciones expuestas en el Capítulo 1<sup>1</sup>, la mezcla que contiene agregado de Polvorón fue poco trabajable y la mezcla tan seca con que se trabajó, con el tiempo, se volvió menos trabajable, por lo que cada vez fue más difícil su manipulación, colocación, compactación y acabado.

<sup>1</sup> Problemas con fluido eléctrico a la hora de la batida



### 5.4.2 Resistencia a compresión

Como se puede apreciar en la Tabla No. 5.3, así como en los Gráficos del 5.11 al 5.14, la ganancia de resistencia para los diferentes concretos producidos varían en función del agregado grueso utilizado, aunque no lo hacen significativamente.

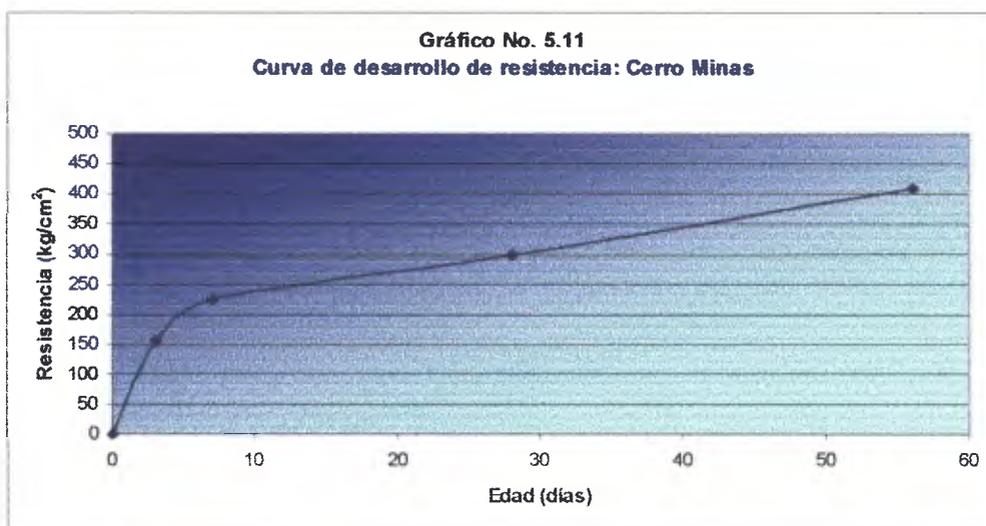
**Tabla No. 5.3**  
Resistencia a compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ) de cilindros de prueba según la edad del cilindro y la procedencia del agregado grueso (ASTM C-39)

Procedencia del agregado	Edad (días)			
	3	7	28	56
Cerro Minas	154	224	298	409
Cóncavas	134	217	308	406
Ochomogo	124	192	327	399
Polvorón	143	189	298	347

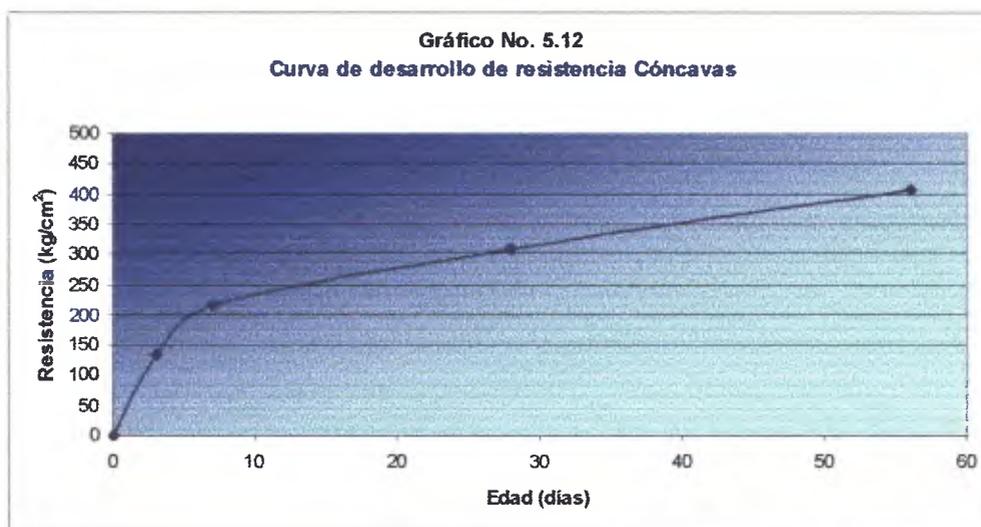
Si se toma en cuenta que la relación A/C utilizada para todos los casos es 0,45 y que el concreto fue manufacturado y curado en laboratorio, se esperaba tener una resistencia a los 28 días de  $370 \text{ kg/cm}^2$ . Sin embargo, esto no se logró en ninguno de los casos y esa cifra se supera, en tres de los cuatro tipos de concreto fabricados, pero a los 56 días de edad. Nuevamente, se aclara que las resistencias obtenidas se basan en el diseño teórico para obtener una resistencia de  $360 \text{ kg/cm}^2$  (y un factor de seguridad de  $40 \text{ kg/cm}^2$ ), al cual, experimentalmente, no se le ajustaron las proporciones para llegar a la resistencia deseada, como se indicó anteriormente.

El concreto fabricado con agregado grueso de Cerro Minas es el que obtuvo la resistencia más alta a edades tempranas y en la última fecha; esto se debe a que es duro, de textura rugosa y posee pesos normales. La ganancia de resistencia del concreto que contenía agregado de Polvorón fue similar a los demás tipos en edades hasta los 28 días; sin embargo, en la última fecha de falla resultó ser el de menor valor y no alcanzó la resistencia base ni la resistencia a cumplir.

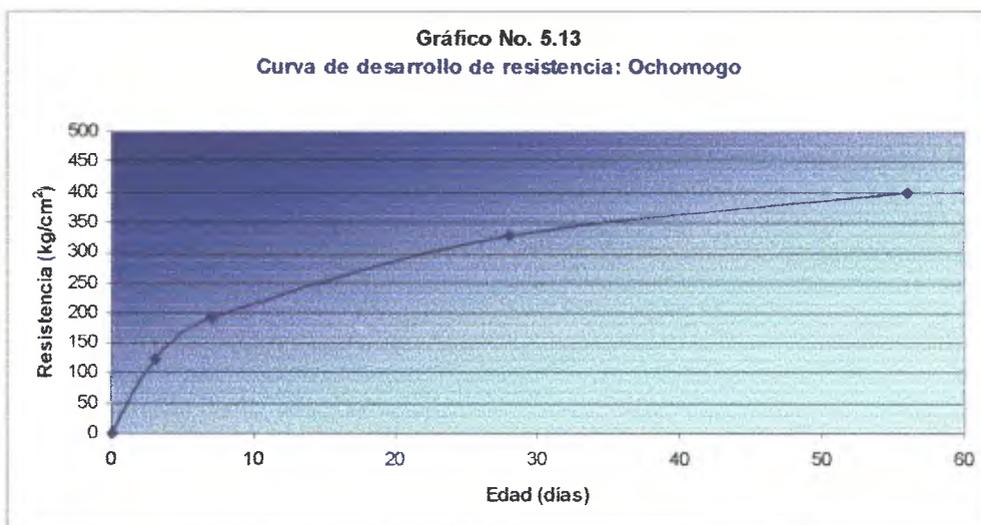
Los modos de falla de todos los cilindros, sin distingo de procedencia del agregado o fecha de falla, fueron por tensión/cortante o del tipo columnar. Para edades de cilindros iguales a 3 y 7 días, la falla fue silente y apenas se evidenciaba una pequeña fisura (a  $45^\circ$  o más o menos vertical). Al abrir los cilindros, en ninguno de los casos se observó que el agregado estuviera fracturado y la falta de adherencia entre pasta y agregado fue la causa de falla.



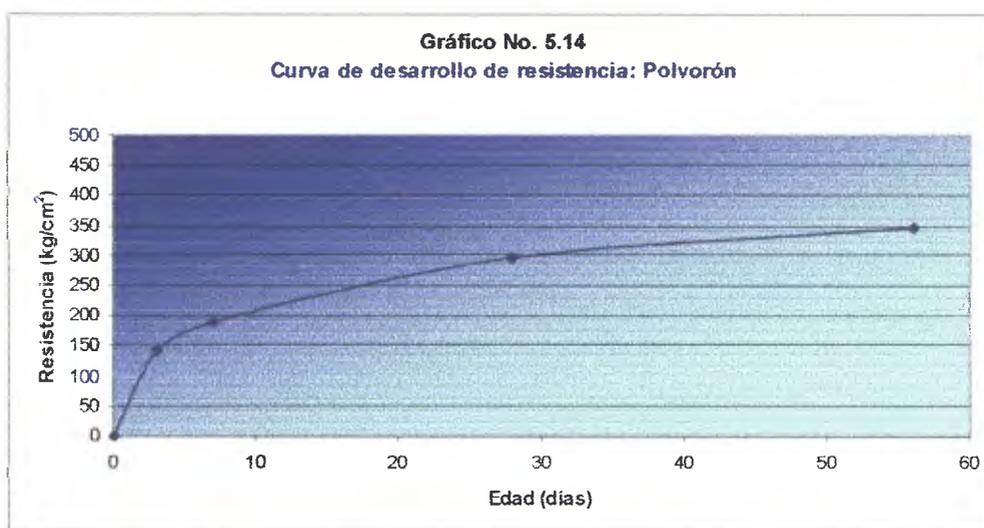
Datos		Capacidad a compresión				
Proporción usada (pesos secos)	1 : 1,41 : 1,90	Edad (días)	3	7	28	56
Relación A/C usada	0,45	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	154	224	298	409
Revenimiento (cm)	10,0	% Resistencia a 28 días	51,7	75,2	100,0	137,2



Datos		Capacidad a compresión				
Proporción usada (pesos secos)	1 : 1,35 : 2,00	Edad (días)	3	7	28	56
Relación A/C usada	0,45	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	134	217	308	406
Revenimiento (cm)	8,0	% Resistencia a 28 días	43,5	70,4	100,0	131,8



Datos		Capacidad a compresión				
Proporción usada (pesos secos)	1 : 1,40 : 1,74	Edad (días)	3	7	28	56
Relación A/C usada	0,45	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	124	192	327	399
Revenimiento (cm)	7,5	% Resistencia a 28 días	37,9	58,7	100,0	122,0



Datos		Capacidad a compresión				
Proporción usada (pesos secos)	1 : 1,50 : 2,05	Edad (días)	3	7	28	56
Relación A/C usada	0,45	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	143	189	298	347
Revenimiento (cm)	6,0	% Resistencia a 28 días	48,0	63,4	100,0	116,4



Para las fechas de 28 días y 56 días, los cilindros fabricados con agregado de Ochoмого fallaron explosivamente, con un sonido fuerte y con partículas que saltaron. Los cilindros quedaron muy fragmentados y las piedras cercanas a las grietas quedaron totalmente destruidas. Ver Figura No. 5.1.



Fuente: Autor

**Figura No. 5.1**  
Falla de cilindros con agregado de Ochoмого

En menor grado, algunos de los cilindros elaborados con agregado de Cónnavas fallaron con sonido fuerte; la mayor parte del agregado quedó entero pero algunas piedras sí quedaron fragmentadas. Se notó que para ese tipo de cilindros, algunas piedras tenían una especie de halo verde que, posiblemente, se deba al contenido de partículas friables en un cilindro que está en condición saturada, lo que se analizó anteriormente. Dichas partículas fueron las más susceptibles de destruirse no solo por la carga de compresión impuesta sino también por el contenido de agua.

Para todas las edades, tanto los cilindros hechos con agregados de Cerro Minas y Polvorón se mostraron con pocas fisuras en el agregado; la mayor parte del agregado no se partió. Se nota que el agregado grueso no está totalmente adherido a la pasta; ellos no funcionan, totalmente, en conjunto como podría ocurrir en un cilindro de alta resistencia, aunque es evidente que en esta resistencia empieza a haber un modo de falla distinto al de un concreto de baja resistencia (inferior a  $350 \text{ kg/cm}^2$ ).

Para los concretos de mediana resistencia en estudio, no se observa relación entre la capacidad a compresión de los cilindros a cualquier edad y la tenacidad o la abrasión del agregado grueso, como aparece en la Tabla No. 5.4. Esto también se

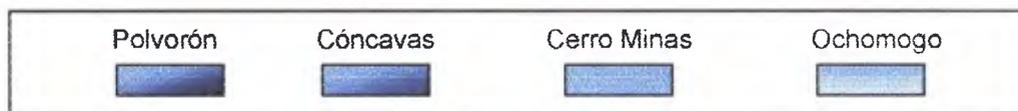
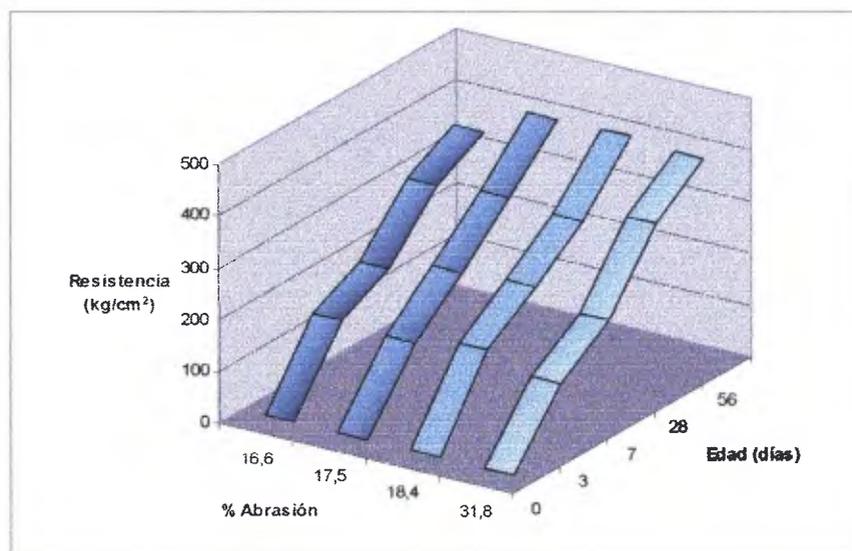
muestra en el Gráfico No. 5.15, en donde se conjuntan tres variables: tiempo, resistencia y porcentaje de desgaste.

Se nota que el concreto elaborado con agregado de Ochomogo (posee la menor resistencia a la abrasión), más bien, es aquel con el que se obtuvo la mayor resistencia a los 28 días y, el concreto fabricado con agregado que tiene la mayor

**Tabla No. 5.4**

Porcentaje de abrasión (ASTM C-131) y resistencia a compresión a 28 y 56 días (ASTM C-39) para concreto elaborado con los agregados gruesos indicados

Tipo de agregado	% Abrasión	Resistencia a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a 56 días (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Cerro Minas</b>	18,4	298	409
<b>Cóncavas</b>	17,5	308	406
<b>Ochomogo</b>	31,8	327	399
<b>Polvorón</b>	16,6	298	347



**Gráfico No. 5.15**  
Relación entre resistencia de concretos y capacidad al desgaste del agregado grueso



capacidad al desgaste obtuvo valores similares a los de los cilindros con agregados de las otras dos fuentes. Incluso, vale destacar que los valores de resistencia promedio para los 56 días no varían en más de 2% para cilindros de tres tipos diferentes de agregados (Cerro Minas, Cóncavas y Ochomogo). Por lo tanto, no se evidencia una relación directa o indirecta entre los valores de resistencia al desgaste de agregados y resistencia a compresión de concretos elaborados para cada caso.

Cabe destacar que sí se observa una relación entre la capacidad al desgaste del agregado y la forma en que falla el cilindro de prueba. Como se mencionó antes, el concreto elaborado con agregado de Ochomogo, que es el que posee el mayor desgaste por abrasión, tuvo una falla más destructiva, más plana (cortando casi por igual pasta y agregado), mientras que los concretos fabricados con agregado de Polvorón, el más duro, deja la menor cantidad de piedras fracturadas en la falla, con grietas que esquivan al agregado. Los casos intermedios de Cerro Minas y Cóncavas generan fallas en los cilindros con planos muy irregulares, con poco agregado fracturado.

### 5.4.3 Otras características del concreto

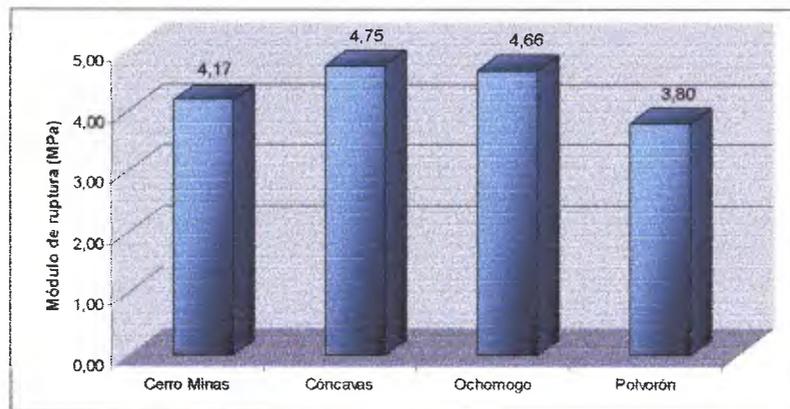
Otras de las características del concreto que se estudiaron son: el módulo de ruptura, el módulo de elasticidad y el peso unitario del concreto. Los valores obtenidos se resumen en la Tabla No. 5.3.

**Tabla No. 5.5**  
Módulos de rotura y elasticidad y peso unitario del concreto según procedencia del agregado grueso utilizado

Procedencia agregado grueso	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cerro Minas	4,17	25 567	2 095
Cóncavas	4,75	26 002	2 120
Ochomogo	4,66	26 803	2 019
Polvorón	3,80	25 560	2 155

El módulo de ruptura se obtuvo a partir del ensayo en los tercios medios de dos vigas para cada tipo de mezcla. En todos los casos, la falla ocurrió en la parte central de la viga, en un plano más o menos liso, cortando por igual pasta y agregado. Los valores más altos corresponden a los concretos fabricados con agregados de Cóncavas y Ochomogo, en tanto que el concreto fabricado con agregado tipo Polvorón tuvo el módulo

menor, como se observa en el Gráfico No. 5.16. Para los casos estudiados, se observa cierta relación proporcional entre módulo de rotura y resistencia a 28 y 56 días, pero no se observa que exista correspondencia entre el módulo de ruptura y la dureza del agregado.



**Gráfico No. 5.16**  
Módulos de ruptura para los concretos fabricados con agregados según se indica

El módulo elástico mostrado en la tabla se aproximó utilizando la ecuación citada en la sección 8.5.1 del ACI-318-02; otras ecuaciones, de acuerdo con la fuente que la propone, pueden encontrarse en el Anexo No. 7. Todos estos valores están relacionados con la resistencia a compresión a los 28 días de edad del cilindro y no la resistencia final, por lo que el módulo de elasticidad mayor corresponde al concreto elaborado con agregado de Ochohogo. Es decir, con base en los resultados obtenidos, es éste el material con mayor resistencia a la deformación, mientras que los concretos Cerro Minas y Polvorón son los menos resistentes a la deformación elástica.

La densidad se calculó con base en la fórmula aproximada dada en la norma ASTM C-567-04, donde se ocupan las proporciones de materiales del diseño de mezcla y el volumen de concreto producido. Los datos obtenidos muestran una buena relación entre la densidad del concreto y la gravedad específica del agregado grueso; haciéndose muy claro que a mayor  $G_{BS}$  es mayor la densidad obtenida.



## Capítulo 6

### Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

##### Sobre los materiales empleados

- Se observa relación directa entre las siguientes variables:
  - Absorción y abrasión de agregados gruesos
  - Partículas friables y contenido de finos que pasan malla #200
  - Peso unitario y peso específico de los agregados gruesos
- Se observa una relación inversa entre las siguientes variables:
  - Absorción y gravedad específica de los agregados gruesos
- Tres de los agregados estudiados, Cónccavas, Ochomogo y Polvorón, poseen una relación uniforme entre tenacidad y abrasión, con valor cercano a 21%. El agregado de Cerro Minas presenta un desgaste no uniforme, con valor de tenacidad/abrasión de 15%; el desgaste de este material no varía proporcionalmente con el número de revoluciones de la Máquina Los Ángeles. De la curva granulométrica obtenida con el material remanente, el tamaño promedio de este agregado es mayor que para los otros tamaños, para abrasión tipo B.
- Se obtienen porcentajes de contenido de partículas friables iguales o mayores para partículas más pequeñas (de 3/8" a malla #4) en relación con muestras de partículas de tamaño más grande (de 3/4" a 3/8").
- El contenido de finos que posee el agregado de Cónccavas se ve aumentado por la presencia de partículas friables, las cuales, al ser sometidas a un lavado con agua, se deshacen. Estas partículas poseen planos de falla importantes.
- A pesar de que el agregado de Ochomogo presenta el menor peso específico, el menor peso unitario y mayor desgaste por abrasión de los cuatro agregados estudiados, superó la resistencia base ( $360 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 56 días de edad. Este comportamiento se sustenta en que esta piedra tiene una buena afinidad con la pasta del concreto.



- En cuanto al cemento utilizado, se establece que no cumple con la resistencia indicada en la norma NCR 40:90; y esta condición podría alterar el comportamiento del concreto producido con él.

### Sobre la mezcla elaborada

- Para obtener concretos, fabricados en las mismas condiciones que en este proyecto, con resistencias de al menos  $350 \text{ kg/cm}^2$  a los 56 días y condiciones de curado óptimo por ese lapso, se puede utilizar cemento tipo I MP, arena tipo Guápiles pasando la malla #4 (ASTM) y agregados gruesos en las siguientes proporciones:

Procedencia Piedra*	A/C	Proporción (pesos secos)	$\phi_{\text{max}}$ (mm)	$G_{\text{bs}}$
Cerro Minas	0,43	1 : 1,41 : 1,90	19	2,47
Cóncavas	0,43	1 : 1,35 : 2,00	19	2,54
Ochomogo	0,43	1 : 1,40 : 1,74	19	2,26
Polvorón	0,43	1 : 1,50 : 2,05	25	2,58

\*Observación: Agregados dentro de especificaciones granulométricas

Para llegar a alcanzar una resistencia de  $360 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad (diseño teórico del proyecto) utilizando dichos cemento y agregados, se debe corregir de acuerdo con el diseño de prueba.

- Los revenimientos, en dependencia del agregado grueso utilizado, variaron entre los 6 y 10 cm. Para las condiciones estudiadas en este proyecto, revenimientos inferiores a los 8 cm no son recomendables puesto que la mezcla se torna "pesada", es decir, de difícil manejo.

### Sobre el concreto obtenido

- Dado que todos los parámetros que influyen en la resistencia del concreto y su medida se mantuvieron constantes, las variaciones en la resistencia a compresión de cada tipo de concreto son, fundamentalmente, debidas al cambio en el agregado grueso, por supuesto, con los correspondientes errores



de proceso. La cuantificación de los errores de proceso (análisis de sensibilidad) no forma parte del alcance de esta investigación.

- Para los concretos elaborados en este proyecto de investigación, cuantitativamente, no se observa una relación directa entre la resistencia alcanzada y la capacidad al desgaste de los agregados. Sin embargo, sí se observa una relación entre la capacidad abrasiva de los agregados y la forma de la falla de los cilindros de prueba. Para un agregado con un porcentaje de abrasión mayor, la falla es más plana y traspasa tanto pasta como agregado, produciéndose mayor cantidad de piedras fracturadas. Para un agregado con un porcentaje de abrasión de menor, la falla tiende a ser más irregular fracturándose la menor cantidad de agregado.
- Los concretos estudiados en este proyecto – fabricados con cemento tipo I MP y con base en un diseño de mezcla teórico cuyas proporciones no fueron ajustadas- no alcanzan la resistencia requerida a los 28 días. La ganancia de resistencia es más lenta y se advierte que a los 56 días de edad, los especímenes experimentan una resistencia promedio de 28% más de aquella exhibida a los 28 días de edad. A la edad de 56 días sí cumplen con la resistencia deseada.

### **Sobre la base de datos elaborada**

- La base de datos presentada en el Anexo No. 8 es una recopilación que condensa los resultados obtenidos en veinticuatro proyectos de graduación de los que se logró tabular información referente a las características físicas y mecánicas de los agregados gruesos, agregados finos y cemento empleados comúnmente en Costa Rica. Dicha base también incluye los aspectos concernientes al diseño de mezcla y resistencias a compresión a diferentes edades de una gran variedad de concretos; diferentes en el tipo de agregado, cemento o aditivo empleados y resistencia de diseño, entre otras características.



## 6.2 Recomendaciones

### Sobre procedimiento experimental

- Debe tenerse una estrategia en cuanto al manejo de agregados una vez que llegan al laboratorio. Se recomienda que el lote sea homogenizado adecuadamente, siguiendo las normas estándares, para luego ser almacenado, en la medida de lo posible, en un solo recipiente o en un solo sitio. Si éstos han de guardarse en sacos o baldes, debe procurarse que los sacos posean un tamaño y forma que facilite su manipulación. Además, cada vez que se ocupe material almacenado en sacos, la muestra debe extraerse del centro.
- Es conveniente tomar las muestras de agregados gruesos y finos con cucharón en lugar de una pala, para evitar la pérdida de finos.
- Antes de hacer las batidas definitivas para elaborar los cilindros o vigas de prueba, es aconsejable elaborar mezclas de prueba, con el fin de prevenir problemas que se presenten, en cuanto a la trabajabilidad y en cuanto a resistencia.

### Técnicas

- Se recomienda que el agregado de Cónccavas sea sometido a un proceso de lavado en el quebrador, con el fin de eliminar el exceso de finos contenido y aquellas partículas susceptibles a ser alteradas por el agua y que pueden afectar negativamente la calidad del concreto. Con base en las características observadas y los análisis de sección delgada, se debe tener precaución con el uso del agregado en casos en que ha de estar expuesto a ciclos de sequedad – humedad; en tal caso deben realizarse estudios más profundos que pronostiquen cuál ha de ser su comportamiento.
- Con base en las características de los agregados y concretos analizadas en esta investigación, no se encuentra una explicación al comportamiento (curvas de desarrollo) que tiene el concreto fabricado con agregado tipo Polvorón. A edades de hasta 28 días, la ganancia de resistencia es similar a los demás agregados estudiados, pero a la edad de 56 días no alcanza la resistencia base ( $360 \text{ kg/cm}^2$ ). Por tanto y con el fin de profundizar en este fenómeno, se



recomienda llevar a cabo estudios químicos al agregado y a los finos que contiene.

- Para complementar los estudios geológicos realizados a cada tipo de agregado mediante el análisis de sección delgada, sería adecuado realizar estudios para determinar el contenido de carbonatos de los agregados. Este estudio beneficiaría en predecir daños en estructuras de concreto, afectadas por lluvia ácida.

#### **Para investigaciones futuras**

- Ampliar la base de datos que se elaboró en este proyecto, mediante la inclusión de las características de agregados de distinta procedencia a los ya contemplados. Sería interesante realizar un análisis estadístico de aquellos parámetros contenidos en la base que así lo permitan y establecer interrelaciones entre las diferentes características citadas en dicha recopilación, para comprender el comportamiento de los materiales nacionales.
- Hacer un estudio en el que se analice la relación entre desgaste por abrasión del agregado grueso y su capacidad a la compresión para concretos de alta resistencia. Se debe analizar, por lo menos, cuatro tipos de agregado de un mismo tipo de fuente de extracción (tajo o río) que posean valores diferentes de abrasión y tomando en cuenta, al menos, dos resistencias diferentes.
- Hacer un estudio en el que se analice la relación existente entre el desgaste por abrasión de los agregados y la capacidad al desgaste del concreto para resistencias de al menos  $350 \text{ kg/cm}^2$ .



## Bibliografía

### Proyectos de graduación

1. Acón Rojas, Esteban. **Comparación técnico-económica entre concretos producidos con cemento Pórtland Tipo I MP y cemento Pórtland Tipo I Normal.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2002.
2. Alan Zúñiga, Manuel y Clark Martínez, Olman. **Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas en elementos prefabricados vibrocompactados.** Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, agosto de 2002.
3. Alfaro Araya, Bernardo José. **Influencia del agregado grueso en la producción de concretos de mediana resistencia.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, diciembre de 1984.
4. Aragón Masís, Sergio. **Determinación del módulo de elasticidad de concretos normales y de alto desempeño en Costa Rica.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, julio de 2004.
5. Araya Rodríguez, Mauricio. **Control de calidad del concreto estructural y del mortero de pega en viviendas.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1998.
6. Camacho De Pass, Álvaro. **Producción de concreto de alta resistencia en Costa Rica.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, diciembre de 1985.
7. Chasi Prestinary, Luis y Montero Chacón, Rodolfo. **Utilización de moldes de PVC DE 102 x 204 mm para el control de calidad del concreto.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, Junio de 1989.
8. De Mézerville Masís, José Pablo. **Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en mezclas de concreto.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2000.



9. De San Román Aguilar, Manuel. **El efecto de las arenas de tajo sobre la trabajabilidad del concreto.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 26 de julio de 2001.
10. Delgado Álvarez, Santana. **Concreto de alta resistencia y concreto celular.** Informe final de práctica de especialidad para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería en Construcción, Departamento de Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 1983.
11. Fernández Umaña, Alexis y Salas Campos, Álvaro. **Evaluación y revisión de las proporciones recomendadas para mezclas de concreto en obras menores utilizando dos fuentes de agregados nacionales.** Proyecto Final de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, agosto de 2002.
12. Hernández Quesada, Bruce Jossé. **Uso de un aditivo antideslave en una mezcla para un concreto sumergido.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, San José, Costa Rica, 2001.
13. Koss Lipiec, Ivan. **Concreto reforzado con fibras de polipropileno.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, San José, Costa Rica, Julio de 2001.
14. López Achío, Karla Patricia. **Concretos de alto desempeño autonivelante para columnas prefabricadas.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, agosto de 2002.
15. Madrigal González, Gabriel. **Estudio para determinar la viabilidad de aprovechar los residuos de concreto premezclado en estado fresco, para la producción de nuevos concretos.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Agosto de 2004.
16. Meseguer Quesada, Luis Carlos. **Producción de concretos de mediana resistencia en Costa Rica.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Diciembre de 1987.
17. Milanés Méndez, Jorge Eduardo. **Nuevas fuentes de agregados para la producción de concretos de mediana resistencia.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Diciembre de 1990.
18. Monge Víquez, Jorge Arturo. **Retracción del concreto fabricado con cemento y agregados de Costa Rica.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, Diciembre de 2003.



19. Muñoz Vieto, Javier. **Influencia de la cal en la resistencia a compresión de morteros.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, enero de 1995.
20. Oreamuno Hernández, Juan Carlos. **Influencia del material pasando la malla #200 (ASTM) en mezclas de concreto elaboradas con cementos Pórtland con adiciones.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, enero de 1996.
21. Picado Eduarte, Alejandro José. **Evaluación técnica de morteros para repello y recomendaciones para su aplicación.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, enero de 2001.
22. Porras Azofeifa, Alonso. **Evaluación de la resistencia de morteros lanzados.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, julio de 2001.
23. Rodríguez Araica, Erick Roberto. **Relación entre resistencia y temperatura del concreto utilizando el método de madurez.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, Abril de 2004.
24. Sáenz Montero, Douglas. **Influencia de los aditivos superplastificantes en la producción de concreto de alta resistencia.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, diciembre de 1987.
25. Talavera Román, Joaquín. **Efecto de aditivos acelerantes en concretos convencionales.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, Enero de 2004.
26. Torres Saizar, Bernardo. **Concretos y morteros modificados con polímeros.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, Julio de 2000.
27. Ulate Retana, Fabio. **Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en mezclas de concreto.** Informe de Proyecto Final Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2001.



### Libros de texto

28. ACI-211. **Manual of concrete practice**. 1989.
29. ACI-318-02. **Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary**. 2002.
30. **Agregados para concreto**. (Fotocopias proporcionadas por Ing. Flor Muñoz Umaña)
31. Ahmad, Shuaib H. **Optimization of mix design for high strength concrete**. Department of Civil Engineering, North Carolina State University at Raleigh, USA, February, 1982.
32. Instituto de Ingeniería UNAM (Comisión Federal de Electricidad). **Manual de Tecnología del Concreto** (Secciones 1 y 3). México: Limusa, Noriega Editores, 1994.
33. Instituto mexicano del cemento y del concreto A.C. **Diseño y control de mezclas de concreto**. México, 1992.
34. Muñoz Umaña, Flor de Ma. **Componentes principales de las mezclas de concreto**. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1998.
35. Nilson, Arthur H y Winter, George. **Diseño de estructuras de concreto**. 11ma. Edición. México: Mc Graw Hill, 1994.
36. Orchard, Dennis Frank. **Concrete Technology** (Vol. 2). 3rd. Edition. New Cork, Halsted Press (John Wiley and Sons), 1973.
37. **Significance of the properties of concrete**. (Fotocopias proporcionadas por Ing. Flor Muñoz Umaña)
38. Tarbuck, Edward J. y Lutgens, Frederick K. **Ciencias de la Tierra**. 6ta edición, Madrid: Prentice Hall, 1999.
39. **Tecnología del concreto**. (Fotocopias proporcionadas por Ing. Flor Muñoz Umaña)

### Periódicos y revistas

40. **Catálogo de Productos de Agregados La Roca**. Empresa Holcim (Costa Rica) S.A.
41. Cetin, Aykut and Carrasquillo, Ramon L. "**High-Performance Concrete: Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties**". ACI Materials Journal, No. 95-M24, (may-june, 1998): 252-261.
42. **La Gaceta**, No. 167 del 5 de setiembre de 1990. San José, Costa Rica.



## Otros

43. Cordero Sandí, Marcia. **Manual de Laboratorio de Materiales de Construcción.** Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, 2do semestre de 2001.
44. Kussmaul, Siegfried. **Análisis de sección delgada de rocas provenientes de Cerro Minas, Cónccavas, Ochomogo y Polvorón.** Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica, abril a mayo de 2005. (Comunicación personal)
45. Muñoz Umaña, Flor de Ma. **Apuntes del curso IC-0604, Materiales de Construcción.** Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2001.

## Páginas de Internet

46. [www.cement.ca/cement.nsf](http://www.cement.ca/cement.nsf)
47. [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)
48. [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)
49. [www.grupoequipav.com.br](http://www.grupoequipav.com.br)
50. [www.guiascostarica.com](http://www.guiascostarica.com)
51. [www.invdes.com.mx](http://www.invdes.com.mx)
52. [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com)
53. [www.pitandquarry.com](http://www.pitandquarry.com)
54. [www.rockproducts.com](http://www.rockproducts.com)

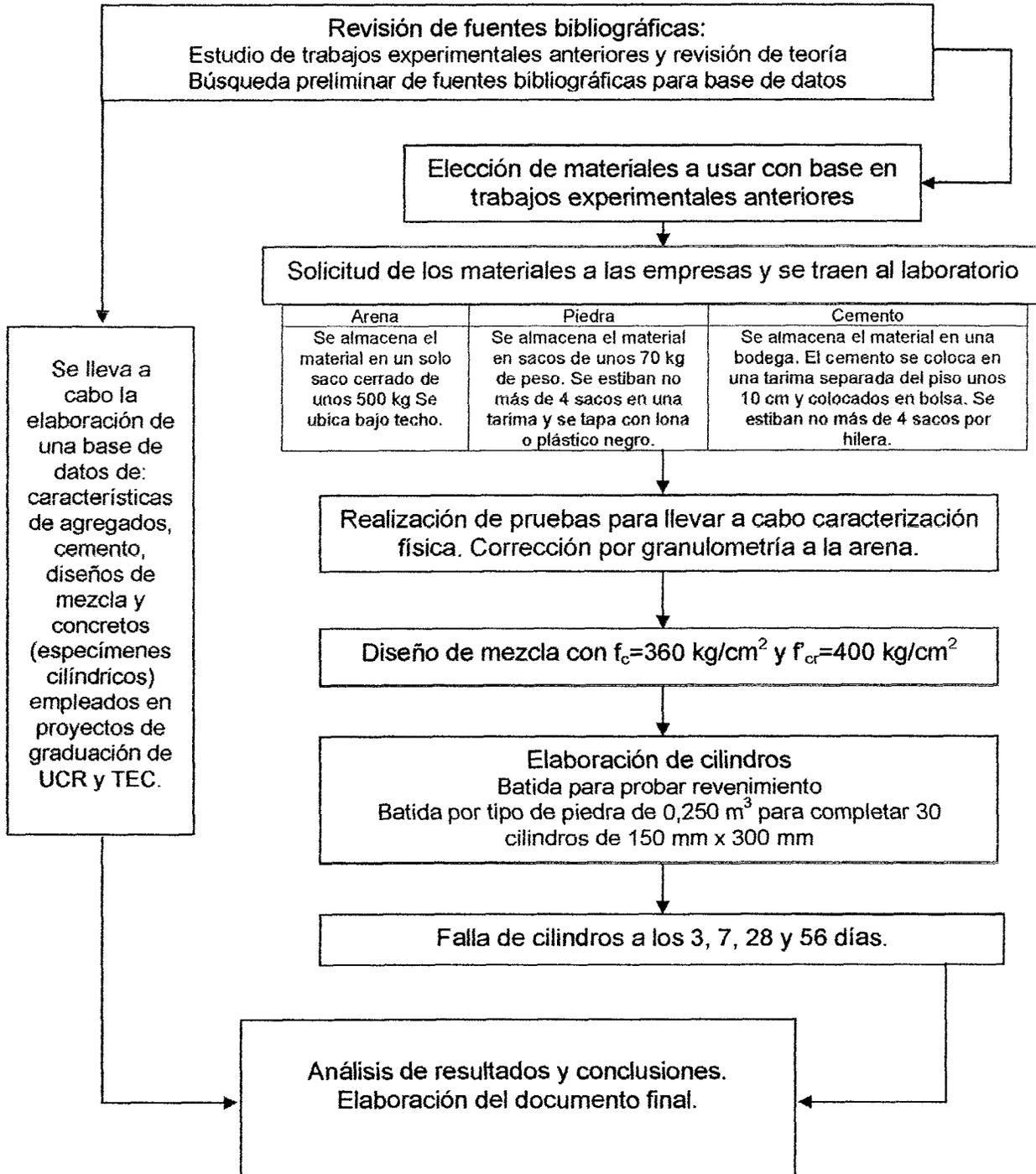


## Anexos



## Anexo No. 1

### Esquema seguido para desarrollar el proyecto





## Anexo No. 2

### Equipo utilizado para la realización de las pruebas

Componente	Prueba	Equipo
<b>Agregado grueso</b>	Muestreo (ASTM D-75)	Cuchara pulpera, baldes
	Cuarteo (ASTM C-702)	Cuchara pulpera, cuarteador mecánico o lona y varilla
	Lavado por malla 200 (ASTM C-117)	Palanganas, horno*, malla #200, malla #8, balanza
	Granulometría (ASTM C-136)	Cuchara pulpera, mallas (tapa y charola), tamizadora**, palanganas, balanza
	Pesos unitarios (ASTM C-29)	Cuchara pulpera, lona, varilla, recipiente estándar, balanza
	Peso específico y absorción (ASTM C-127)	Palanganas, paños, balanza, balde, canasta, horno
	Abrasión (ASTM C-131)	Mallas, balanza, palanganas, máquina Los Ángeles***, horno
	Partículas friables (ASTM C-142)	Palanganas, mallas (#4 y #8), guantes, horno, balanza
<b>Agregado fino</b>	Muestreo (ASTM D-75)	Cuchara pulpera, baldes
	Cuarteo (ASTM C-702)	Cuchara pulpera, cuarteador mecánico
	Lavado por malla 200 (ASTM C-117)	Palanganas, horno, malla #200, malla #8, balanza
	Granulometría (ASTM C-136)	Cuchara pulpera, mallas (tapa y charola), tamizadora, palanganas, balanza
	Pesos unitarios (ASTM C-29)	Cuchara pulpera, lona, varilla, recipiente estándar, balanza
	Peso específico y absorción (ASTM C-128)	Bandeja, secadora, espátula, picnómetro, embudo, gotero, balanza
	Colorimetría (ASTM C-40)	Botella, embudo, cucharita de pulpero
<b>Cemento</b>	Consistencia normal (ASTM C-187)	Gotero, probeta, batidora, aparato de Vicat, cono truncado, espátula, cuchara pulpera, vidrio, cronómetro, bandeja, guantes, balanza, cámara de humedad
	Tiempo de fraguado (ASTM C-191)	
	Gravedad específica (ASTM C-188)	Frasco Le Chatelier, balanza, probeta, embudos, cuchara pulpera, palangana, cápsulas, espátula metálica
	Compresión de mortero (ASTM C-109)	Balanza, probeta, cucharita pulpera, batidora, cápsulas, espátula, tabla de flujo, moldes para cubos de 2", calibrador, cronómetro, moldes, maciño plástico, cámara de humedad, Máquina Universal
	Finura (ASTM C-204)	Balanza, equipo de permeabilidad de Blaine, cápsulas, espátula metálica



<b>Concreto</b>	Fabricación de especímenes (ASTM C-192)	Baldes, batidora****, carretillo, balanza, manguera, cuchara pulpera, probeta, moldes metálicos (cilindros o vigas), mazo de hule, llaneta, varilla, paño, cronómetro
	Revenimiento (ASTM C-143) Curado (ASTM C-192)	Cono de Abrahams, cuchara pulpera, varilla, llaneta Cámara de humedad
	Cabeceo (ASTM C-617)	Moldes para cabeceo, espátula, guantes, nivel, cuchara pulpera, palangana, cuchara
	Compresión y módulo rotura (ASTM C-78)	Máquina Universal*****

- 
- \* Horno marca ELE, con capacidad de 60°C a 170°C.
  - \*\* Tamizadora mecánica, marca Soiltest, con capacidad para colocar 9 mallas y charola en serie, programada para tamizar, continuamente, por 5 minutos.
  - \*\*\* Máquina Los Ángeles, marca ELE Internacional, de 220 V y 60 Hz, que gira con velocidad de 30 a 33 rev/min.
  - \*\*\*\* Batidora con capacidad para 2 sacos.
  - \*\*\*\*\* Se utilizaron dos tipos de Máquina Universal, según la disponibilidad:
    - o Marca Riehle, con capacidad máxima de 300 000 lbf.
    - o Marca Forney, con capacidad máxima de 226 796 kg.



## Anexo No. 3

### Normas ASTM utilizadas en el proyecto

#### Agregado grueso

Especificaciones estándar de agregados	ASTM C 33-03
Muestreo del material	ASTM D 75-03
Reducción de muestras al tamaño de prueba (cuarteo)	ASTM C 702-98
Lavado utilizando malla 200	ASTM C 117-03
Granulometría	ASTM C 136-01
Pesos unitarios	ASTM C 29/29M-97
Peso específico y absorción	ASTM C 127-01
Abrasión máquina Los Ángeles	ASTM C 131-03
Contenido de partículas friables	ASTM C 142-97

#### Agregado fino

Especificaciones estándar de agregados	ASTM C 33-03
Muestreo del material	ASTM D 75-03
Reducción de muestras al tamaño de prueba (cuarteo)	ASTM C 702-98
Lavado utilizando malla 200	ASTM C 117-03
Granulometría	ASTM C 136-01
Pesos unitarios	ASTM C 29/29M-97
Peso específico y absorción	ASTM C 128-01
Prueba de colorimetría	ASTM C 40-04

#### Cemento

Especificaciones para cemento Portland	ASTM C 150-04
Prueba de consistencia normal de un cemento hidráulico	ASTM C 187-98
Tiempo de fragua de un cemento hidráulico utilizando aguja de Vicat	ASTM C 191-04
Gravedad específica	ASTM C 188-95
Práctica para realizar la mezcla de mortero	ASTM C 305-99
Método estándar para determinar el flujo de un mortero de cemento hidráulico	ASTM C 1437-01
Resistencia a la compresión de un mortero de cemento hidráulico usando un espécimen cúbico de 50 mm	ASTM C 109/109M-97
Finura de un cemento por el aparato de permeabilidad del aire (Blaine)	ASTM C 204-00

#### Concreto

Fabricación y curado de especímenes de concreto en laboratorio	ASTM C 192/192M-02
Cámaras de humedad y tanques de almacenamiento utilizados para probar cementos hidráulicos y concretos	ASTM C 511-03
Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto	ASTM C 617-98
Método estándar para determinar el revenimiento de un concreto de cemento hidráulico	ASTM C 143/143M-03
Método estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	ASTM C 39/C 39M-03
Método estándar para determinar el módulo de elasticidad y la razón de Poisson en concreto a compresión	ASTM C 469-02
Determinación del módulo de rotura (tercios medios)	ASTM C 78-02



## Anexo No. 4

### Características de los agregados utilizados

- Agregado grueso tipo Cerro Minas (Santa Ana, San José)
- Agregado grueso tipo Cóncavas (Cartago)
- Agregado grueso tipo Ochomogo (Cartago)
- Agregado grueso tipo Polvorón (Alajuela)
- Agregado fino tipo Guápiles (Limón)



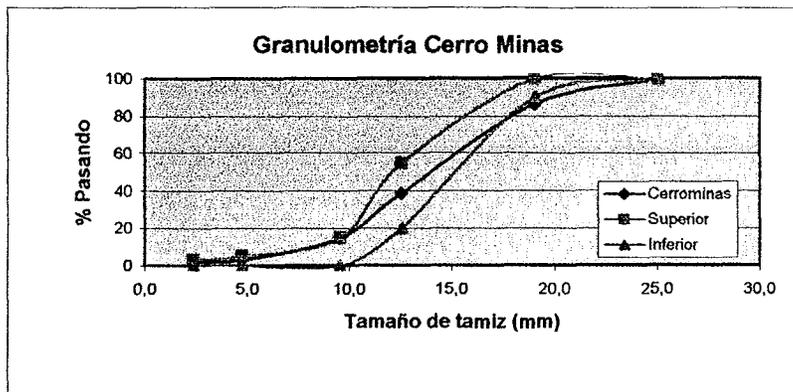
## Agregado grueso Cerro Minas

### Lavado ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	295,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 405,3
	Peso agregado seco (g)	6 110,2
Después del lavado	Peso cápsula (g)	314,0
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 365,0
	Peso agregado seco (g)	6 051,0
% finos que pasan malla 200		0,07

### Granulometría ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
1	25,0	0,0	0,0	0,0	100	100	100
3/4	19,0	823,2	13,5	13,5	87	100	90
1/2	12,5	2 918,1	47,8	61,3	39	55	20
3/8	9,5	1 469,1	24,1	85,4	15	15	0
4	4,75	705,6	11,6	96,9	3	5	0
8	2,4	65,2	1,1	98,0	2	3	-
Charola		122,4	2,0	100,0	0		
Peso total		6 405,6					





## Agregado grueso Cerro Minas (cont.)

### Peso unitario ASTM C-29

	Peso unitario suelto			Peso unitario envenado		
	1	2	3	1	2	3
$W_{agreg} + W_{rec} (g)$	17 670,5	17 955,4	18 193,0	18 634,2	18 670,2	18 654,3
$W_{rec} (g)$	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1
$W_{agreg} (g)$	13 045,4	13 330,3	13 567,9	14 009,1	14 045,1	14 029,2
$V_{rec} (m^3)$	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962
$\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)$	1 356,1	1 385,7	1 410,4	1 456,2	1 460,0	1 458,3
<b>Valor promedio <math>\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)</math></b>	<b>1 384,0</b>			<b>1 458,2</b>		

### Gravedad específica y absorción ASTM C-128

Peso saturado superficie seca (g)	3 476,6
Peso sumergido (g)	2 107,5
Peso seco (g)	3 385,2
Temperatura (°C)	23,0 ± 0,1
$G_s$	2,65
$G_{psa}$	2,54
$G_{sa}$	2,47
% Absorción	2,70

### Contenido de partículas friables y arcillosas ASTM C-142-97

Tamaños entre 3/4" y 3/8"	Peso seco inicial (g)	2 237,8
	Peso seco final (g)	2 229,3
	% Partículas friables o arcillosas	0,38
Tamaños entre 3/8" y #4	Peso seco inicial (g)	1 021,9
	Peso seco final (g)	1 018,1
	% Partículas friables o arcillosas	0,37



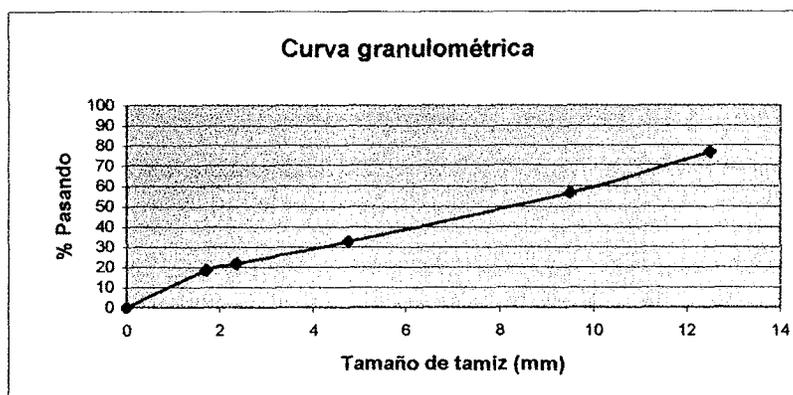
## Agregado grueso Cerro Minas (cont.)

### Abrasión ASTM C-131-03

Abrasión (Nº 50 B)	
Cantidad inicial (g)	5 000,0
Cantidad a 100 rev (g)	4 860,0
Cantidad a 500 rev (g)	4 079,1
% Tenacidad	2,80
% Abrasión	18,4

### Granulometría después de 500 revoluciones

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
1/2	12,5	1 152,3	23,0	23,0	77
3/8	9,5	1 019,6	20,4	43,4	57
4	4,75	1 196,2	23,9	67,4	33
8	2,36	541,1	10,8	78,2	22
12	1,7	169,9	3,4	81,6	18
Charola	0	920,9	18,4	100,0	0
Peso total		5 000,0	100,0		





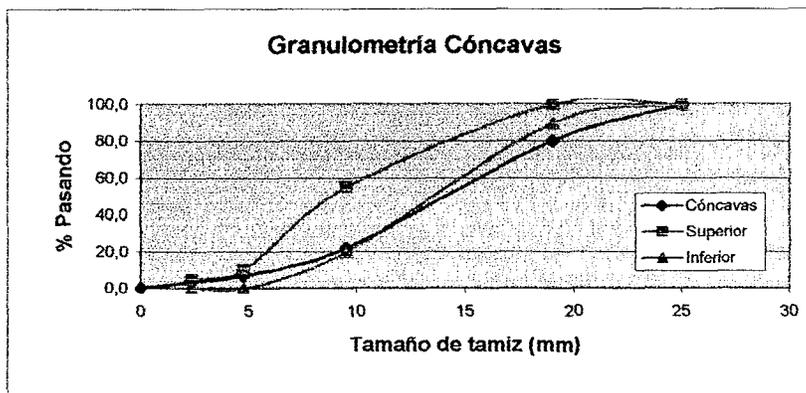
## Agregado grueso Cóncavas

### Lavado ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	246,7
	Peso cápsula + agregado seco (g)	7 439,8
	Peso agregado seco (g)	7 193,1
Después del lavado	Peso cápsula (g)	254,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	7 331,7
	Peso agregado seco (g)	7 077,6
% finos que pasan malla 200 (<1%)		1,61

### Granulometría ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
1	25,0	0,0	0,0	0,0	100	100	100
3/4	19,0	1 399,3	19,5	19,5	81	100	90
1/2	12,5	3 153,4	43,9	63,4	37	-	-
3/8	9,5	1 049,4	14,6	78,0	22	55	20
4	4,75	1 086,0	15,1	93,2	7	10	0
8	2,4	244,9	3,4	96,6	3	5	0
Charola		245,3	3,4	100,0	0		
Peso total		7 178,3					





## Agregado grueso Cóncavas (cont.)

### Peso unitario ASTM C-29

	Peso unitario suelto			Peso unitario envarillado		
	1	2	3	1	2	3
$W_{\text{sueltos}} + W_{\text{rec}} \text{ (g)}$	18 566,3	18 634,8	18 915,0	19 399,0	19 488,0	19 459,0
$W_{\text{rec}} \text{ (g)}$	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1
$W_{\text{sueltos}} \text{ (g)}$	13 941,2	14 009,7	14 289,9	14 773,9	14 862,9	14 833,9
$V_{\text{rec}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962
$\gamma_{\text{masivo seco}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 449,2	1 456,3	1 485,4	1 535,7	1 545,0	1 542,0
<b>Valor promedio <math>\gamma_{\text{masivo seco}} \text{ (kg/m}^3\text{)}</math></b>	<b>1 463,6</b>			<b>1 540,9</b>		

### Gravedad específica y absorción ASTM C-128

Peso saturado superficie seca (g)	5 313,3
Peso sumergido (g)	3 260,4
Peso seco (g)	5 217,1
Temperatura (°C)	23,2 ± 0,1
$G_s$	2,67
$G_{ss}$	2,59
$G_m$	2,54
% Absorción	1,84

### Contenido de partículas friables y arcillosas ASTM C-142-97

Tamaños entre 3/4" y 3/8"	Peso seco inicial (g)	2 216,3
	Peso seco final (g)	2 169,5
	% Partículas friables o arcillosas	2,11
Tamaños entre 3/8" y #4	Peso seco inicial (g)	1 065,3
	Peso seco final (g)	1 005,4
	% Partículas friables o arcillosas	5,62



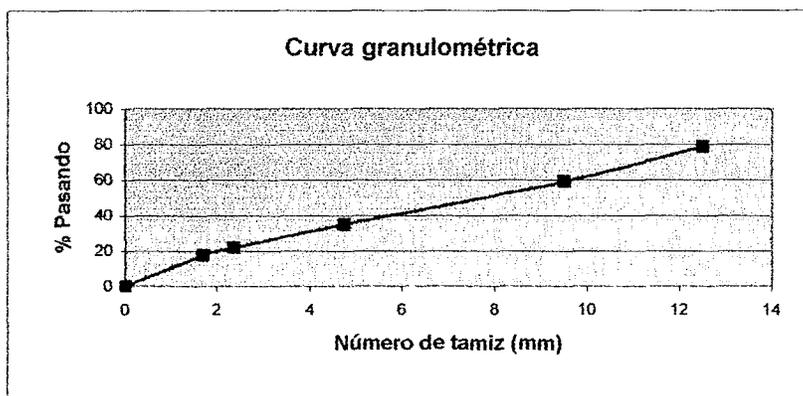
## Agregado grueso Cóncavas (cont.)

### Abrasión ASTM C-131-03

Abrasión tipo B	
Cantidad inicial (g)	5 000,0
Cantidad a 100 rev (g)	4 815,8
Cantidad a 500 rev (g)	4 123,1
% Tenacidad	3,68
% Abrasión	17,5

### Granulometría después de 500 revoluciones

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
1/2	12,5	1 057,5	21,2	21,2	79
3/8	9,5	988,7	19,8	40,9	59
4	4,75	1 214,6	24,3	65,2	35
8	2,36	648,6	13,0	78,2	22
12	1,7	213,7	4,3	82,5	18
Charola	0	876,9	17,5	100,0	0
<b>Peso total</b>		<b>5 000,0</b>	<b>100,0</b>		



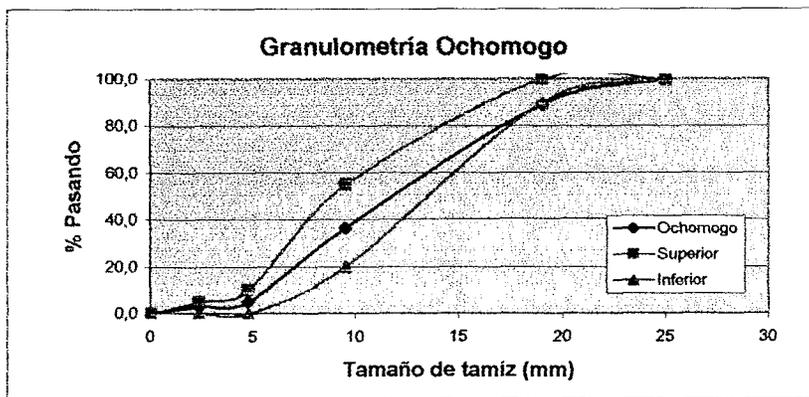
## Agregado grueso Ochoмого

### Lavado ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	295,6
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 938,9
	Peso agregado seco (g)	6 643,3
Después del lavado	Peso cápsula (g)	246,0
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 818,0
	Peso agregado seco (g)	6 572,0
% finos que pasan malla 200 (<150µ)		1,07

### Granulometría ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
1	25,0	0,0	0,0	0,0	100	100	100
3/4	19,0	718,3	10,8	10,8	89	100	90
1/2	12,5	2 094,2	31,5	42,3	58	-	-
3/8	9,5	1 410,7	21,2	63,5	36	55	20
4	4,75	2 089,0	31,4	95,0	5	10	0
8	2,4	143,3	2,2	97,1	3	5	0
Charola		190,8	2,9	100,0	0		
Peso total		6 646,3					





## Agregado grueso Ochoмого (cont.)

### Peso unitario ASTM C-29

	Peso unitario suelto			Peso unitario envasado		
	1	2	3	1	2	3
$W_{agreg} + W_{rec} (g)$	16 810,2	16 945,4	16 869,8	17 522,6	17 558,6	17 306,5
$W_{rec} (g)$	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1
$W_{agreg} (g)$	12 185,1	12 320,3	12 244,7	12 897,5	12 933,5	12 681,4
$V_{rec} (m^3)$	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962
$\gamma_{masivo seco} (kg/m^3)$	1 266,6	1 280,7	1 272,8	1 340,7	1 344,4	1 318,2
Valor promedio $\gamma_{masivo seco} (kg/m^3)$	1 273,4			1 334,5		

### Gravedad específica y absorción ASTM C-128

Peso saturado superficie seca (g)	3 991,7
Peso sumergido (g)	2 319,2
Peso seco (g)	3 779,1
Temperatura (°C)	22,2 ± 0,1
$G_s$	2,59
$G_{ss}$	2,39
$G_{pc}$	2,26
% Absorción	5,63

### Contenido de partículas friables y arcillosas ASTM C-142-97

Tamaños entre 3/4" y 3/8"	Peso seco inicial (g)	2 129,2
	Peso seco final (g)	2 100,6
	% Partículas friables o arcillosas	1,34
Tamaños entre 3/8" y #4	Peso seco inicial (g)	1 029,6
	Peso seco final (g)	1 005,3
	% Partículas friables o arcillosas	2,36



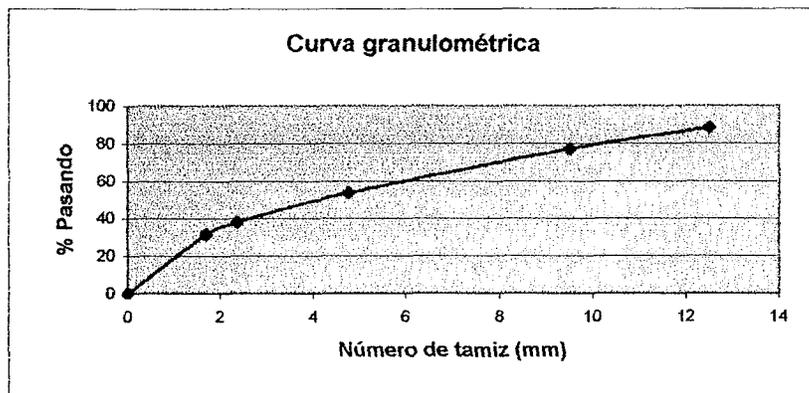
## Agregado grueso Ochoмого (cont.)

### Abrasión ASTM C-131-03

Abrasión tipo B	
Cantidad inicial (g)	5 000,0
Cantidad a 100 rev (g)	4 663,5
Cantidad a 500 rev (g)	3 411,9
<b>% Tenacidad</b>	<b>6,73</b>
<b>% Abrasión</b>	<b>31,8</b>

### Granulometría después de 500 revoluciones

# Malla	Apertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
1/2	12,5	582,3	11,6	11,6	88
3/8	9,5	565,9	11,3	23,0	77
4	4,76	1 174,9	23,5	46,5	54
8	2,36	771,2	15,4	61,9	38
12	1,7	317,6	6,4	68,2	32
Charola	0	1 588,1	31,8	100,0	0
<b>Peso total</b>		<b>5 000,0</b>	<b>100,0</b>		





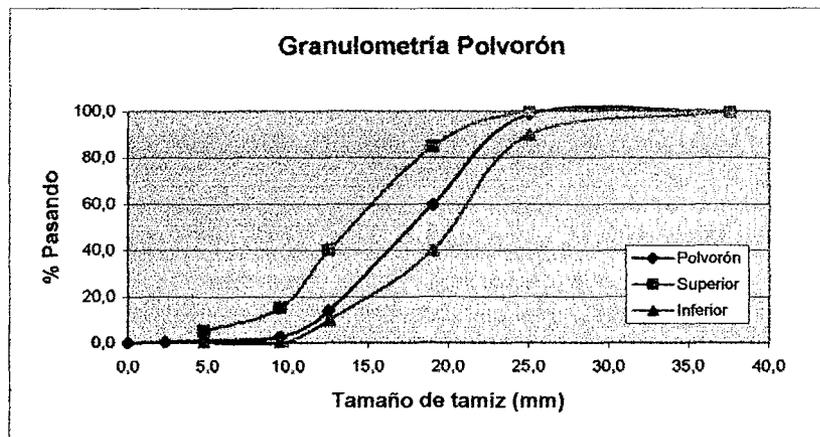
## Agregado grueso Polvorón

### Lavado ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	250,6
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 263,0
	Peso agregado seco (g)	6 012,4
Después del lavado	Peso cápsula (g)	250,6
	Peso cápsula + agregado seco (g)	6 243,3
	Peso agregado seco (g)	5 992,7
% finos que pasan malla 200		0,33

### Granulometría ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
1 1/2	37,5	0,0	0,0	0,0	100	100	100
1	25,0	113,8	1,2	1,2	99	100	90
3/4	19,0	3 703,6	39,1	40,3	60	85	40
1/2	12,5	4 332,3	45,7	86,0	14	40	10
3/8	9,5	1 076,9	11,4	97,4	3	15	0
4	4,75	167,7	1,8	99,2	1	5	0
8	2,4	52,6	0,6	99,7	0		
Charola		24,4	0,3	100,0	0		
		0,0					
Peso total		9471,2					





## Agregado grueso Polvorón (cont.)

### Peso unitario ASTM C-29

	Peso unitario suelto			Peso unitario envasado		
	1	2	3	1	2	3
$W_{agreg} + W_{rec} (g)$	17 319,8	17 482,2	17 479,7	18 065,4	18 488,2	18 270,4
$W_{rec} (g)$	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1	4 625,1
$W_{agreg} (g)$	12 694,7	12 857,1	12 854,6	13 440,3	13 863,1	13 645,3
$V_{rec} (m^3)$	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962	0,00962
$\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)$	1 319,6	1 336,5	1 336,2	1 397,1	1 441,1	1 418,4
<b>Valor promedio <math>\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)</math></b>	<b>1 330,8</b>			<b>1 418,9</b>		

### Gravedad específica y absorción ASTM C-128

Peso saturado superficie seca (g)	5 468,3
Peso sumergido (g)	3 383,6
Peso seco (g)	5 372,0
Temperatura (°C)	21,0 ± 0,1
$G_s$	2,70
$G_{ss}$	2,62
$G_{bc}$	2,58
% Absorción	1,79

### Contenido de partículas friables y arcillosas ASTM C-142-97

Tamaños entre 3/4" y 3/8"	Peso seco inicial (g)	3 869,1
	Peso seco final (g)	3 864,2
	% Partículas friables o arcillosas	0,13
Tamaños entre 3/8" y #4	Peso seco inicial (g)	1 658,7
	Peso seco final (g)	1 634,4
	% Partículas friables o arcillosas	1,47



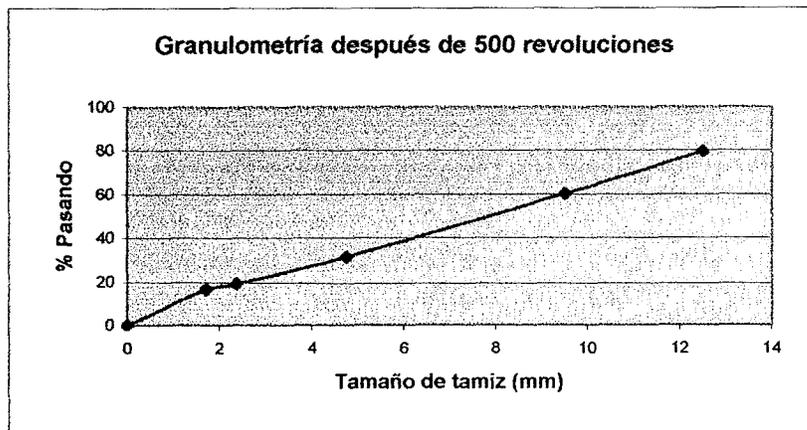
## Agregado grueso Polvorón (cont.)

### Abrasión ASTM C-131-03

Abrasión tipo B	
Cantidad inicial (g)	5 000,3
Cantidad a 100 rev (g)	4 825,1
Cantidad a 500 rev (g)	4 169,9
<b>% Tenacidad</b>	<b>3,50</b>
<b>% Abrasión</b>	<b>16,6</b>

### Granulometría después de 500 revoluciones

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
1/2	12,5	1 024,0	20,5	20,5	80
3/8	9,5	962,8	19,3	39,7	60
4	4,75	1 442,6	28,9	68,6	31
8	2,36	606,2	12,1	80,7	19
12	1,7	134,3	2,7	83,4	17
Charola	0	830,4	16,6	100,0	0
<b>Peso total</b>		<b>5 000,3</b>			





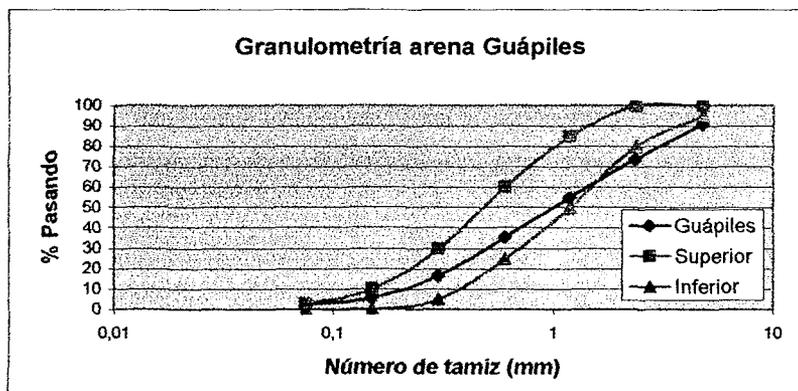
## Agregado fino Guápiles natural

### Lavado ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	204,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	2 070,0
	Peso agregado seco (g)	1 865,9
Después del lavado	Peso cápsula (g)	204,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	2 025,3
	Peso agregado seco (g)	1 821,2
% finos que pasan malla 200		2,40

### Granulometría ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
4	4,75	174,2	9,3	9,3	91	100	95
8	2,36	318,2	17,0	26,3	74	100	80
16	1,18	351,0	18,8	45,1	55	85	50
30	0,6	366,9	19,6	64,7	35	60	25
50	0,3	351,1	18,8	83,5	17	30	5
100	0,15	204,0	10,9	94,4	6	10	0
200	0,075	56,7	3,0	97,4	3	3	0
Charola		48,8	2,6	100,0	0	-	-
Peso total		1 870,9					
Módulo de finura					3,23		





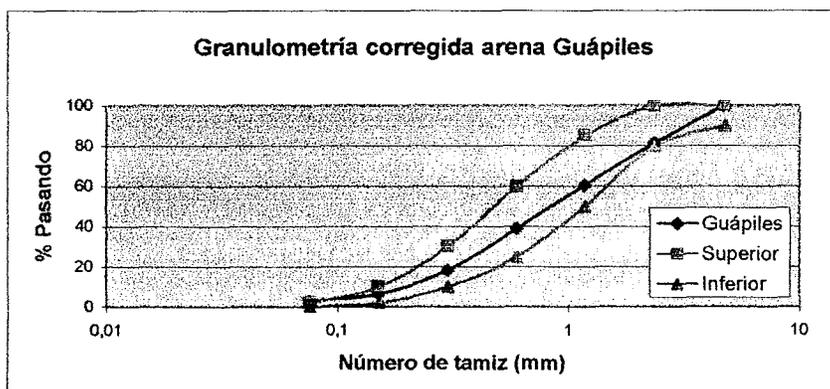
### Agregado fino Guápiles corregido

Lavado  
ASTM C-117

Antes del lavado	Peso cápsula (g)	204,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	1.895,8
	Peso agregado seco (g)	1.691,7
Después del lavado	Peso cápsula (g)	204,1
	Peso cápsula + agregado seco (g)	1.851,1
	Peso agregado seco (g)	1.647,0
% finos que pasan malla 200		2,64

Granulometría corregida (eliminando material de la malla 4)  
ASTM C-136

# Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando	Especificación superior	Especificación inferior
4	4,75	0,0	0,0	0,0	100	100	90
8	2,36	318,2	18,8	18,8	81	100	80
16	1,18	351,0	20,7	39,4	61	85	50
30	0,6	366,9	21,6	61,1	39	60	25
50	0,3	351,1	20,7	81,8	18	30	10
100	0,15	204,0	12,0	93,8	6	10	2
200	0,075	56,7	3,3	97,1	3	2	-
Charola		48,8	2,9	100,0	0	-	-
Peso total		1696,7					
Módulo de finura					2,95		





## Agregado fino Guápiles corregido (cont.)

### Gravedad específica y absorción ASTM C-128

Masa de muestra seca (g)	A	482,8
Masa de picnómetro + agua a la marca (g)	B	674,0
Masa de picnómetro + agua + muestra a la marca (g)	C	983,0
Masa de muestra en condición sss (g)	S	500,3
$G_{ss} = A/(B+S-C)$		2,52
$G_{BSS} = S/(B+S-C)$		2,62
$G_{sp} = A/(B+A-C)$		2,78
% Absorción		3,62

### Peso unitario ASTM C-29

	Peso unitario suelto			Peso unitario envasado		
	1	2	3	1	2	3
$W_{agreg} + W_{rec} (g)$	6 236,2	6 196,8	6 231,5	6 450,3	6 432,3	6 454,0
$W_{rec} (g)$	1 742,5	1 742,5	1 742,5	1 742,5	1 742,5	1 742,5
$W_{agreg} (g)$	4 493,7	4 454,3	4 489,0	4 707,8	4 689,8	4 711,5
$V_{rec} (m^3)$	0,00284	0,00284	0,00284	0,00284	0,00284	0,00284
$\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)$	1 584,9	1 571,0	1 583,2	1 660,4	1 654,0	1 661,7
Valor promedio $\gamma_{masivo\ seco} (kg/m^3)$	1 579,7			1 658,7		

### Impurezas orgánicas ASTM C40-04

Color patrón	Café
Color de la muestra	Ámbar muy claro (como aceite de cocina)
Resultado	< 500 ppm



## **Anexo No. 5**

**Características del cemento utilizado  
(Tipo I MP, Holcim)**



## Cemento Tipo 1 MP Holcim

### Parámetros químicos\* NORMA NCR 40:90

Componente	% de cada componente	
	Mín.	Max.
p.f.	1	3,1
SiO <sub>2</sub>	27	34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5	4,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,52	2,77
CaO	48	59
MgO	1,5	3,1
SO <sub>3</sub>	2	2,7
K <sub>2</sub> O	0,6	0,8
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,41
Cl	0,056	0,009

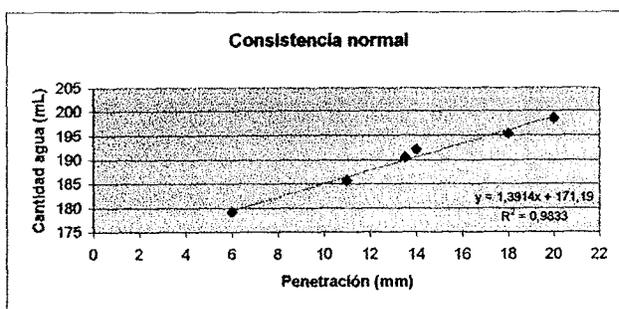
\*Datos proporcionados por Holcim

### Gravedad específica ASTM C-188-95

Peso de cemento (g)	64,00
Lectura del volumen inicial (mL)	0,4
Lectura del volumen final (mL)	22,9
<b>Gravedad específica del cemento (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,84</b>

### Consistencia normal ASTM C-187-98

Peso de agua / 0,01 g	% w	mm	Penetración / 0,5 mm
178,8	27,50	179	6,0
185,3	28,51	186	11,0
190,1	29,25	191	13,5
191,8	29,50	192	14,0
195,0	30,00	195	18,0
198,3	30,50	199	20,0
<b>Peso de cemento seco (g)</b>		<b>850,0</b>	
<b>Temperatura del agua (°C)</b>		<b>22,1</b>	
<b>% agua para lograr consistencia normal</b>		<b>28,5</b>	
<b>Cantidad de agua, consistencia normal (mL)</b>		<b>186</b>	



## Cemento Tipo 1 MP Holcim (cont.)

**Finura**  
ASTM C-204

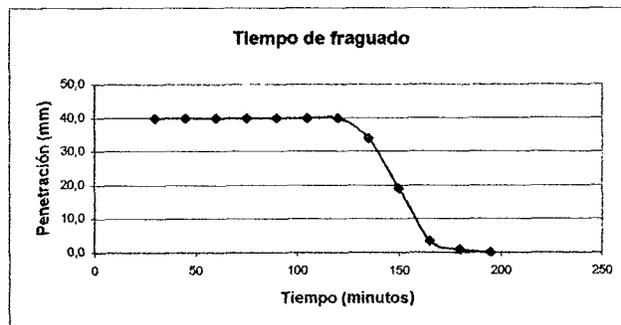
Calibración					
	Peso de mercurio para llenar la celda (g)		84,108		
	Temperatura (°C)		23,0		
	Densidad del mercurio (g/cm <sup>3</sup> )		13,54		
	Peso de cemento patrón (g)		2,448		
	Peso mercurio para completar celda (g)		58,647		
	Volumen de cemento patrón (cm <sup>3</sup> )		1,880		
	Superficie específica cemento patrón (cm <sup>2</sup> /g)		3774 ± 68		
Prueba		1	2	3	
Patrón	Masa (g)	2,446	2,446	2,446	
	Tiempo (s)	21,38	22,41	23,50	
	Muestra	Masa (g)	2,670	2,670	
		Tiempo (s)	35,91	37,75	
Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)		4836			

**Tiempo de fraguado**  
ASTM C-191-04

Tiempo (min)	Penetración (mm)
30	40,0
45	40,0
60	40,0
75	40,0
90	40,0
105	40,0
120	40,0
135	34,0
150	19,0
165	3,5
180	1,0
195	0,0

Peso de cemento seco (g)	650,0
Cantidad de agua (ml.)	185
Temperatura del agua (°C)	22,0

Tiempo de fragua inicial (min)	145
Tiempo de fragua final (min)	195





## Cemento Tipo 1 MP Holcim (cont.)

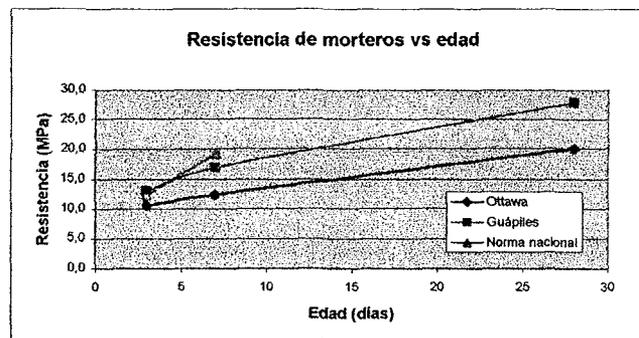
Determinación de flujo de morteros para prueba de compresión  
ASTM C-230

	Agua (%)	Agua (mL)	Flujo (%)
Arena Ottawa	50	250	114,0
Arena Guápiles	56	280	107,5

Prueba de compresión de morteros\*  
ASTM C-109-02

Fecha	Especimen	Arena Ottawa		Arena Guápiles	
		(kg)	(MPa)	(kg)	(MPa)
3 días	1	3089	11,7	3624	13,7
	2	2295	8,7	3338	12,6
	3	2722	10,3	3456	13,0
	4	3162	11,9	3434	13,0
	Promedio	2817	10,6	3463	13,1
7 días	1	3366	12,7	5216	19,7
	2	2644	10,0	4205	15,9
	3	3629	13,7	4150	15,7
	4	3470	13,1	4477	16,9
	Promedio	3277	12,4	4512	17,0
28 días	1	5597	21,1	7534	28,4
	2	4749	17,9	7294	27,5
	3	5139	19,4	7312	27,6
	4	5851	22,1	7403	27,9
	Promedio	5334	20,1	7386	27,9

\* Observación: Prueba realizada al cemento con tiempo de almacenamiento inferior a un mes





## Anexo No. 6

### Diseños de mezcla



## Diseño de mezcla – Ejemplo de cálculo

### Cerro Minas

#### • Características iniciales

##### Características de agregado grueso

Tamaño máximo (mm)	19
$\gamma_{\text{suelto}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 385,0
$\gamma_{\text{envarillado}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 459,2
$G_s$	2,65
$G_{bss}$	2,54
$G_{bs}$	2,47
% Absorción	2,70

##### Características de agregado fino

MF	2,95
$\gamma_{\text{suelto}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 579,7
$\gamma_{\text{envarillado}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 658,7
$G_s$	2,78
$G_{bss}$	2,62
$G_{bs}$	2,52
% Absorción	3,62

#### • Elección de revenimiento y condiciones iniciales

- Revenimiento: 7,5 a 10 cm
- Tamaño máximo del agregado: 19,1 mm
- Aire: concreto sin aire incluido

#### • Cantidad de agua necesaria

Con las condiciones anteriores, se tiene

- Cantidad de agua de la mezcla: 200 kg
- Porcentaje de aire arrastrado 2%

#### • Determinación de la relación A/C

- Resistencia especificada: 360 Kg/cm<sup>2</sup>
- FS: 40 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia de diseño

$$f'_{cr} = f'_c + I'S$$

$$f'_{cr} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

- Relación A/C: 0,43



- Determinación de la cantidad de cemento

$$P_{\text{cemento}} = \frac{P_{\text{agua}}}{A/C} = \frac{200\text{kg}}{0,43} = 465,1\text{kg}$$

- Cantidad de agregado grueso

- Como el MF de arena es 2,95 y sabiendo que el tamaño nominal máximo de agregado es 19,1 mm, luego:

$$V_{\text{masivo envarillado piedra}} = 0,605 \text{ m}^3$$

- La cantidad en peso de agregado grueso es:

$$P_{\text{secopiedra}} = \gamma_{\text{masivo en varillado}} \times V_{\text{masivo en varillado}}$$

$$P_{\text{secopiedra}} = 1459,2\text{kg/m}^3 \times 0,605\text{m}^3$$

$$P_{\text{secopiedra}} = 882,8\text{m}^3$$

- Cantidad de agregado fino

- Volúmenes de cada componente de concreto

$$Agua = \frac{200\text{kg}}{1000\text{kg/m}^3} = 0,200\text{m}^3$$

$$Cemento = \frac{P_{\text{cemento}}}{G_s \times \gamma_w} = \frac{465,1\text{kg}}{2,84 \times 1000\text{kg/m}^3} = 0,164\text{m}^3$$

$$Aire = \frac{2\%}{100\%} \times 1\text{m}^3 = 0,020\text{m}^3$$

$$Piedra = \frac{P_{\text{secopiedra}}}{G_{bs} \times \gamma_w} = \frac{882,8\text{kg}}{2,47 \times 1000\text{kg/m}^3} = 0,357\text{m}^3$$

- Volumen bruto de arena:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{aire}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{piedra}} + V_{\text{arena}}$$

$$1\text{m}^3 = (0,020 + 0,200 + 0,164 + 0,357)\text{m}^3 + V_{\text{arena}}$$

$$V_{\text{arena}} = 0,259\text{m}^3$$

- Peso seco de arena

$$P_{\text{sec arena}} = G_{bs} \times V_{\text{bruto arena}} \times \gamma_w$$

$$P_{\text{sec arena}} = 2,52 \times 0,259\text{m}^3 \times 1000\text{kg/m}^3$$

$$P_{\text{sec arena}} = 652,7\text{kg}$$



• Corrección por humedad

- Condiciones
  - % de humedad de la piedra en sitio = 0,67%
  - % de humedad de la arena en sitio = 4,11%
- Cantidad de agua libre

$$\text{Agua aportada por piedra} \quad 882,8\text{kg} * \left( \frac{0,67 - 2,70}{100} \right) = -17,92\text{kg}$$

$$\text{Agua aportada por arena} \quad 653\text{kg} * \left( \frac{4,11 - 3,62}{100} \right) = +3,20\text{kg}$$

$$\text{Agua libre} \quad -14,75 \text{ kg}$$

- Cantidad, en peso, de agua y de cada agregado

$$\text{Agua} = 200\text{kg} - 14,75\text{kg} = 185,7\text{kg}$$

$$\text{Arena} = 653\text{kg}(1 + 0,0411) = 679,8\text{kg}$$

$$\text{Piedra} = 882,8\text{kg}(1 + 0,0067) = 888,7\text{kg}$$

• Proporciones por peso seco

	Sin corrección por humedad <sup>(1)</sup>	Con corrección por humedad <sup>(2)</sup>
Cemento (kg)	465,1	465,1
Agua (kg)	200,0	185,7
Arena (kg)	654,2	681,1
Piedra (kg)	882,8	888,7
<b>A/C</b>	<b>0.43</b>	<b>0.43</b>
<b>Proporción</b>	<b>1 : 1,40 : 1,90</b>	<b>1 : 1,46 : 1,91</b>

(1) Arena y piedra: pesos secos.

Agua: agua de diseño.

(2) Arena y piedra: pesos con humedad al dosificar

Agua: agua de dosificación



## Diseño de mezcla (ACI 211)

Cerro Minas

Características de agregado grueso	
Tamaño máximo (mm)	19
$\gamma_{suelto}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 385,0
$\gamma_{envarillado}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 459,2
$G_s$	2,65
$G_{bss}$	2,54
$G_{bs}$	2,47
% Absorción	2,70
% Humedad en sitio	1,07

Características de agregado fino	
MF	2,95
$\gamma_{suelto}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 579,7
$\gamma_{envarillado}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 658,7
$G_s$	2,78
$G_{bss}$	2,62
$G_{bs}$	2,52
% Absorción	3,62
% Humedad en sitio	2,78

Diseño de mezcla (para 1 m <sup>3</sup> de concreto)		
Revenimiento (cm)	8 a 10	
Tamaño máximo de agregado (mm)	19	
Cantidad de agua (kg)	200	
% aire arrastrado	2	
Resistencia a cumplir (kg/cm <sup>2</sup> )	400	
Relación A/C	0,43	
Cantidad de cemento ( $G_s=2.84$ ) (kg)	465,1	
Volumen masivo envarillado piedra (m <sup>3</sup> )	0,605	
Peso seco de piedra (kg)	882,8	
Volumen bruto de piedra (m <sup>3</sup> )	0,357	
Volumen bruto de arena (m <sup>3</sup> )	0,259	
Peso seco de arena (kg)	654,2	
Proporción por peso seco (sin corrección de humedad)	1 : 1,41 : 1,90	
Cantidades de cada componente para producir 1 m <sup>3</sup> de concreto (volúmenes masivos de agregados secos)	Agua (L)	200
	Cemento (sacos)	9,3
	Arena (m <sup>3</sup> )	0,414
	Piedra (m <sup>3</sup> )	0,639

Datos experimentales (Mezcla para 0,212 m <sup>3</sup> de concreto)		
	Sin corrección por humedad <sup>(1)</sup>	Con corrección por humedad <sup>(2)</sup>
Revenimiento observado (cm)		10,0
Agua (kg)	42,40	46,62 + 1,50*
Cemento (kg)	98,60	98,60
Arena (kg)	138,69	142,55
Piedra (kg)	187,15	189,15

\* Para mejorar trabajabilidad se agregó 1,5 kg más de agua

(1) Arena y piedra: pesos secos Agua: agua de diseño

(2) Arena y piedra: pesos con humedad al dosificar Agua: agua de dosificación



## Diseño de mezcla (ACI 211)

Cóncavas

Características de agregado grueso	
Tamaño máximo (mm)	19
$\gamma_{\text{suelto}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 463,6
$\gamma_{\text{envarillado}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 540,9
$G_s$	2,67
$G_{\text{bss}}$	2,59
$G_{\text{bs}}$	2,54
% Absorción	1,84
% Humedad en sitio	1,66

Características de agregado fino	
MF	2,95
$\gamma_{\text{suelto}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 579,7
$\gamma_{\text{envarillado}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 658,7
$G_s$	2,78
$G_{\text{bss}}$	2,62
$G_{\text{bs}}$	2,52
% Absorción	3,62
% Humedad en sitio	2,25

Diseño de mezcla (para 1 m <sup>3</sup> de concreto)		
Revenimiento (cm)	8 a 10	
Tamaño máximo de agregado (mm)	19	
Cantidad de agua (kg)	200	
% aire arrastrado	2	
Resistencia a cumplir (kg/cm <sup>2</sup> )	400	
Relación A/C	0,43	
Cantidad de cemento ( $G_s=2.84$ ) (kg)	465,1	
Volumen masivo envarillado piedra (m <sup>3</sup> )	0,605	
Peso seco de piedra (kg)	932,2	
Volumen bruto de piedra (m <sup>3</sup> )	0,367	
Volumen bruto de arena (m <sup>3</sup> )	0,249	
Peso seco de arena (kg)	629,5	
Proporción por peso seco (sin corrección de humedad)	1 : 1,35 : 2,00	
Cantidades de cada componente para producir 1 m <sup>3</sup> de concreto (volúmenes masivos de agregados secos)	Agua (L)	200
	Cemento (sacos)	9,3
	Arena (m <sup>3</sup> )	0,398
	Piedra (m <sup>3</sup> )	0,637

Datos experimentales (Mezcla para 0,212 m <sup>3</sup> de concreto)		
	Sin corrección por humedad <sup>(1)</sup>	Con corrección por humedad <sup>(2)</sup>
Revenimiento observado (cm)		8,0
Agua (kg)	42,40	44,58 + 1,50*
Cemento (kg)	98,60	98,60
Arena (kg)	133,45	136,45
Piedra (kg)	197,63	200,91

\* Para mejorar trabajabilidad se agregó 1,5 kg más de agua

(1) Arena y piedra: pesos secos. Agua: agua de diseño.

(2) Arena y piedra: pesos con humedad al dosificar. Agua: agua de dosificación.



## Diseño de mezcla (ACI 211)

Ochomogo

Características de agregado grueso	
Tamaño máximo (mm)	19
$\gamma_{\text{suelto}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 273,4
$\gamma_{\text{envarillado}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 334,5
$G_s$	2,59
$G_{\text{bss}}$	2,39
$G_{\text{bs}}$	2,26
% Absorción	5,63
% Humedad en sitio	3,60

Características de agregado fino	
MF	2,95
$\gamma_{\text{suelto}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 579,7
$\gamma_{\text{envarillado}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 658,7
$G_s$	2,78
$G_{\text{bss}}$	2,62
$G_{\text{bs}}$	2,52
% Absorción	3,62
% Humedad en sitio	2,25

Diseño de mezcla (para 1 m <sup>3</sup> de concreto)		
Revenimiento (cm)	8 a 10	
Tamaño máximo de agregado (mm)	19	
Cantidad de agua (kg)	200	
% aire arrastrado	2	
Resistencia a cumplir (kg/cm <sup>2</sup> )	400	
Relación A/C	0,43	
Cantidad de cemento ( $G_s=2.84$ ) (kg)	465,1	
Volumen masivo envarillado piedra (m <sup>3</sup> )	0,605	
Peso seco de piedra (kg)	807,4	
Volumen bruto de piedra (m <sup>3</sup> )	0,3573	
Volumen bruto de arena (m <sup>3</sup> )	0,2589	
Peso seco de arena (kg)	653,5	
Proporción por peso seco (sin corrección de humedad)	1 : 1,40 : 1,74	
Cantidades de cada componente para producir 1 m <sup>3</sup> de concreto (volúmenes masivos de agregados secos)	Agua (L)	200
	Cemento (sacos)	9,3
	Arena (m <sup>3</sup> )	0,414
	Piedra (m <sup>3</sup> )	0,634

Datos experimentales (Mezcla para 0,212 m <sup>3</sup> de concreto)		
	Sin corrección por humedad <sup>(1)</sup>	Con corrección por humedad <sup>(2)</sup>
Revenimiento observado (cm)		7,5
Agua (kg)	42,40	47,78 + 1,50*
Cemento (kg)	98,60	98,60
Arena (kg)	138,54	141,66
Piedra (kg)	171,17	177,88

\* Para mejorar trabajabilidad se agregó 1,5 kg más de agua

(1) Arena y piedra: pesos secos Agua: agua de diseño

(2) Arena y piedra: pesos con humedad al dosificar. Agua: agua de dosificación



## Diseño de mezcla (ACI 211)

Polvorón

Características de agregado grueso	
Tamaño máximo (mm)	25
$\gamma_{\text{suelto}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 330,8
$\gamma_{\text{envarillado}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 418,9
$G_s$	2,70
$G_{\text{bss}}$	2,62
$G_{\text{bs}}$	2,58
% Absorción	1,79
% Humedad en sitio	1,83

Características de agregado fino	
MF	2,95
$\gamma_{\text{suelto}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 579,7
$\gamma_{\text{envarillado}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1 658,7
$G_s$	2,78
$G_{\text{bss}}$	2,62
$G_{\text{bs}}$	2,52
% Absorción	3,62
% Humedad en sitio	2,08

Diseño de mezcla (para 1 m <sup>3</sup> de concreto)		
Revenimiento (cm)	8 a 10	
Tamaño máximo de agregado (mm)	25	
Cantidad de agua (kg)	195	
% aire arrastrado	1,5	
Resistencia a cumplir (kg/cm <sup>2</sup> )	400	
Relación A/C	0,43	
Cantidad de cemento ( $G_s=2.84$ ) (kg)	453,5	
Volumen masivo envarillado piedra (m <sup>3</sup> )	0,655	
Peso seco de piedra (kg)	929,4	
Volumen bruto de piedra (m <sup>3</sup> )	0,360	
Volumen bruto de arena (m <sup>3</sup> )	0,270	
Peso seco de arena (kg)	681,7	
Proporción por peso seco (sin corrección de humedad)	1 : 1,50 : 2,05	
Cantidades de cada componente para producir 1 m <sup>3</sup> de concreto (volúmenes masivos de agregados secos)	Agua (L)	200
	Cemento (sacos)	9,3
	Arena (m <sup>3</sup> )	0,431
	Piedra (m <sup>3</sup> )	0,698

Datos experimentales (Mezcla para 0,212 m <sup>3</sup> de concreto)		
	Sin corrección por humedad <sup>(1)</sup>	Con corrección por humedad <sup>(2)</sup>
Revenimiento observado (cm)		6,0
Agua (kg)	41,34	43,49 + 2,0*
Cemento (kg)	96,14	96,14
Arena (kg)	144,52	147,53
Piedra (kg)	197,03	200,64

\* Para mejorar trabajabilidad se agregó 2,0 kg más de agua

(1) Arena y piedra: pesos secos. Agua: agua de diseño.

(2) Arena y piedra: pesos con humedad al dosificar. Agua: agua de dosificación.



## **Anexo No. 7**

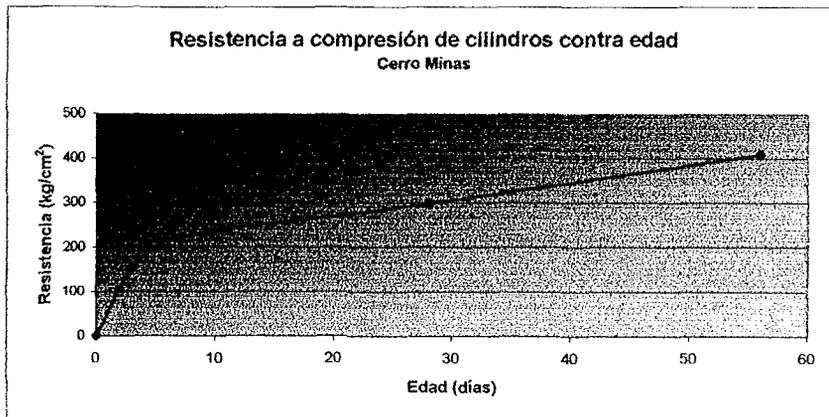
**Propiedades de los concretos obtenidos**



Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Cerro Minas)

Resistencias a compresión de los especímenes  
ASTM C-39/C39 M-03

Edad (días)	No. espécimen	Resistencia en concretos proyectados para una resistencia deseada de 350 kg/cm <sup>2</sup>			
		(lb)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
3	1	59 000	26 786	152	14,9
	2	59 750	27 127	154	15,1
	3	59 250	26 900	152	14,9
	4	60 750	27 581	156	15,3
	5	65 000	29 510	167	16,4
	6	59 500	27 013	153	15,0
	7	56 250	25 538	145	14,2
	Promedio	59 829	27 208	154	15,1
Desviación			7	0,7	
7	1	90 500	41 087	233	22,8
	2	81 250	36 888	209	20,5
	3	87 500	39 725	225	22,1
	4	89 000	40 406	229	22,4
	5	86 250	38 158	222	21,7
	6	90 750	41 201	233	22,9
	7	84 000	38 136	216	21,2
	Promedio	87 036	38 514	224	21,9
Desviación			9	0,9	
28	1		57 896	328	32,1
	2		44 071	249	24,5
	3		57 974	328	32,2
	4		47 532	269	26,4
	5		57 955	328	32,2
	6		54 118	306	30,0
	7		57 316	324	31,8
	8		44 189	250	24,5
Promedio		52 631	298	29,2	
Desviación			36	3,5	
56	1	161 000	73 094	414	40,6
	2	171 000	77 634	439	43,1
	3	169 000	76 726	434	42,6
	4	155 000	70 370	398	39,1
	5		76 258	432	42,3
	6		70 679	400	39,2
	7		69 762	395	38,7
	8		64 006	362	35,5
Promedio		72 316	409	40,1	
Desviación			26	2,5	





**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Cerro Minas)**

**Densidad de concreto endurecido  
ASTM C-567-04**

Masa de agregado fino seco (kg)	138,7
Masa de agregado grueso seco (kg)	187,2
Masa de cemento (kg)	98,6
Volumen de mezcla producido (m <sup>3</sup> )	0,212
Densidad de concreto seco calculada (kg/m <sup>3</sup> )	2 095
Densidad de equilibrio aproximada (kg/m <sup>3</sup> )	2 145

**Módulo de rotura  
ASTM C-78**

	Viga 1	Viga 2
Carga última (kg)	4 273	4 686
Largo promedio (cm)	53,0	52,6
Ancho promedio (cm)	15,2	15,2
Altura promedio (cm)	15,2	15,3
Módulo rotura a 56 días (MPa)	5,49	5,98
Módulo de rotura a 28 días (MPa)		4,17

**Módulo de elasticidad  
(Aproximaciones, Ref. (4))**

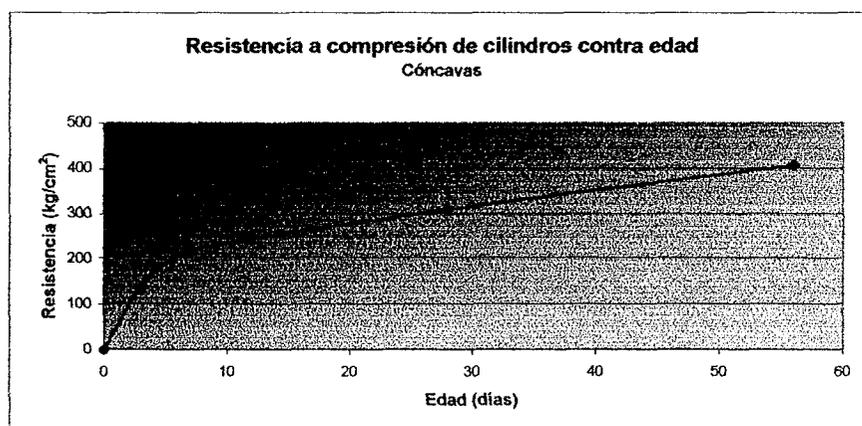
Exposición	Fórmula	E (MPa)
ACI-2002	$E_c (MPa) = 4730 \sqrt{f'_c}$	25 567
ACI-92	$E_c (MPa) = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900$	17 946
Ahmad y Shah	$E_c (MPa) = 8800 \cdot (f'_c)^{0.325}$	26 352
Carrasquillo et al	$E_c (MPa) = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) (w_c / 2300)^{1.5}$	21 600
Aragón Masís	$E_c (MPa) = 2841 \sqrt{f'_c} + 7641$	22 998



Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Cóncavas)

Resistencias a compresión de los especímenes  
ASTM C-39/C39 M-03

Edad (días)	No. espécimen	Resistencia			
		(lb)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
3	1	50 500	22 927	130	12,7
	2	50 000	22 700	128	12,6
	3	49 500	22 473	127	12,5
	4	50 500	22 927	130	12,7
	5	58 500	26 559	150	14,7
	6	50 250	22 814	129	12,7
	7	55 000	24 970	141	13,9
	<b>Promedio</b>	<b>52 036</b>	<b>23 624</b>	<b>134</b>	<b>13,1</b>
	<b>Desviación</b>			<b>9</b>	<b>0,9</b>
7	1	82 750	37 569	213	20,9
	2	88 000	39 952	226	22,2
	3	81 500	37 001	209	20,5
	4	83 500	37 909	215	21,0
	5	86 500	39 271	222	21,8
	6	86 750	39 385	223	21,9
	7	81 250	36 888	209	20,5
	<b>Promedio</b>	<b>84 321</b>	<b>38 282</b>	<b>217</b>	<b>21,3</b>
	<b>Desviación</b>			<b>7</b>	<b>0,7</b>
28	1	115 000	52 210	295	29,0
	2	118 000	53 572	303	29,7
	3	132 750	60 269	341	33,5
	4	118 750	53 913	305	29,9
	5	109 000	49 486	280	27,5
	6	122 000	55 388	313	30,7
	7	126 250	57 318	324	31,8
	8	117 500	53 345	302	29,6
	<b>Promedio</b>	<b>119 906</b>	<b>54 437</b>	<b>308</b>	<b>30,2</b>
<b>Desviación</b>			<b>19</b>	<b>1,8</b>	
56	1	134 500	61 063	346	33,9
	2	161 000	73 094	414	40,6
	3	165 000	74 910	424	41,6
	4	171 500	77 861	441	43,2
	5	165 000	74 910	424	41,6
	6	156 500	71 051	402	39,4
	7	145 000	65 830	373	36,5
	8	165 500	75 137	425	41,7
	<b>Promedio</b>	<b>168 000</b>	<b>71 732</b>	<b>406</b>	<b>39,8</b>
<b>Desviación</b>			<b>32</b>	<b>3,1</b>	





**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Cóncavas)**

**Densidad de concreto endurecido  
ASTM C-567-04**

Masa de agregado fino seco (kg)	133,5
Masa de agregado grueso seco (kg)	197,6
Masa de cemento (kg)	98,6
Volumen de mezcla producido (m <sup>3</sup> )	0,212
Densidad de concreto seco calculada (kg/m <sup>3</sup> )	2 120
Densidad de equilibrio aproximada (kg/m <sup>3</sup> )	2 170

**Módulo de rotura  
ASTM C-78**

	Viga 1	Viga 2
Carga última (kg)	4 613	5 375
Largo promedio (cm)	53,1	53,0
Ancho promedio (cm)	15,4	15,2
Altura promedio (cm)	15,5	15,3
Módulo rotura a 56 días (MPa)	6,64	6,88
Módulo de rotura a 28 días (MPa)		4,76

**Módulo de elasticidad  
(Aproximaciones, Ref (4))**

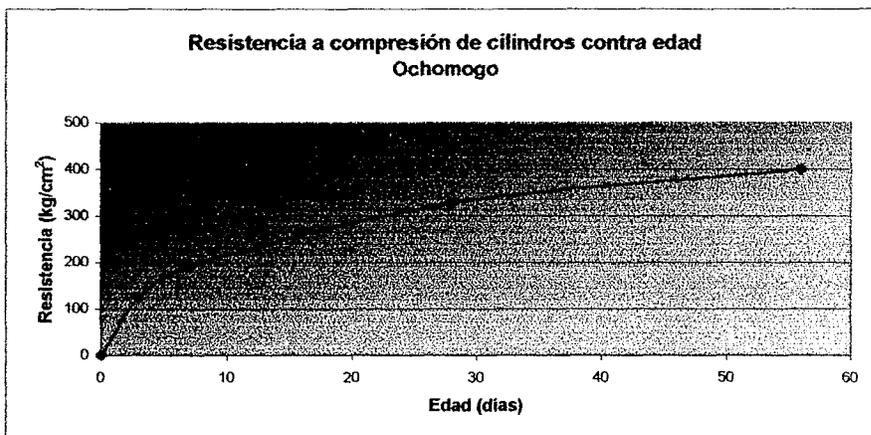
Expresión	Fórmula	E (MPa)
ACI-2002	$E_c (MPa) = 4730 \sqrt{f'_c}$	26 002
ACI-92	$E_c (MPa) = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900$	18 251
Ahmad y Shah	$E_c (MPa) = 8800 \cdot (f'_c)^{0,325}$	26 643
Carrasquillo et al	$E_c (MPa) = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot (w_c / 2300)^{1,5}$	22 254
Aragón Masis	$E_c (MPa) = 2841 \sqrt{f'_c} + 7641$	23 259



**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Ochomogo)**

**Resistencias a compresión de los especímenes  
ASTM C-39/C39 M-03**

Edad (días)	No. especimen	Resistencia			
		(lb)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
3	1	42 500	19 295	109	10,7
	2	46 700	21 202	120	11,8
	3	45 500	20 657	117	11,5
	4	48 500	22 019	125	12,2
	5	50 000	22 700	128	12,6
	6	51 400	23 336	132	13,0
	7	52 600	23 880	135	13,3
	<b>Promedio</b>	<b>48 171</b>	<b>21 870</b>	<b>124</b>	<b>12,1</b>
<b>Desviación</b>			<b>9</b>	<b>0,9</b>	
7	1	71 250	32 348	183	18,0
	2	77 000	34 958	198	19,4
	3	73 250	33 256	188	18,5
	4	74 000	33 596	190	18,7
	5	75 250	34 164	193	19,0
	6	78 750	35 753	202	19,8
	7	74 750	33 937	192	18,8
	<b>Promedio</b>	<b>74 893</b>	<b>34 001</b>	<b>192</b>	<b>18,9</b>
<b>Desviación</b>			<b>6</b>	<b>0,6</b>	
28	1	134 000	60 836	344	33,8
	2	131 250	59 588	337	33,1
	3	128 750	58 453	331	32,4
	4	121 000	54 934	311	30,5
	5	131 500	59 701	338	33,1
	6	123 250	55 956	317	31,1
	7	123 000	55 842	316	31,0
	8	126 500	57 431	325	31,9
	<b>Promedio</b>	<b>127 406</b>	<b>57 842</b>	<b>327</b>	<b>32,1</b>
<b>Desviación</b>			<b>12</b>	<b>1,2</b>	
56	1	169 500	76 953	435	42,7
	2	155 500	70 597	399	39,2
	3	167 000	75 818	429	42,1
	4	161 000	73 094	414	40,6
	5	131 000	59 474	337	33,0
	6	125 000	56 750	321	31,5
	7	162 500	73 775	417	41,0
	8	172 500	78 315	443	43,5
	<b>Promedio</b>	<b>155 500</b>	<b>70 597</b>	<b>399</b>	<b>39,2</b>
<b>Desviación</b>			<b>46</b>	<b>4,5</b>	





**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Ochomogo)**

**Densidad de concreto endurecido  
ASTM C-567-04**

Masa de agregado fino seco (kg)	138,5
Masa de agregado grueso seco (kg)	171,2
Masa de cemento (kg)	98,6
Volumen de mezcla producido (m <sup>3</sup> )	0,212
Densidad de concreto seco calculada (kg/m <sup>3</sup> )	2 019
Densidad de equilibrio aproximada (kg/m <sup>3</sup> )	2 089

**Módulo de rotura  
ASTM C-78**

	Viga 1	Viga 2
Carga última (kg)	4 314	4 618
Largo promedio (cm)	53,3	52,1
Ancho promedio (cm)	15,2	15,2
Altura promedio (cm)	15,2	15,4
Módulo rotura a 56 días (MPa)	5,54	5,83
Módulo de rotura a 28 días (MPa)		4,66

**Módulo de elasticidad  
(Aproximaciones, Ref. (4))**

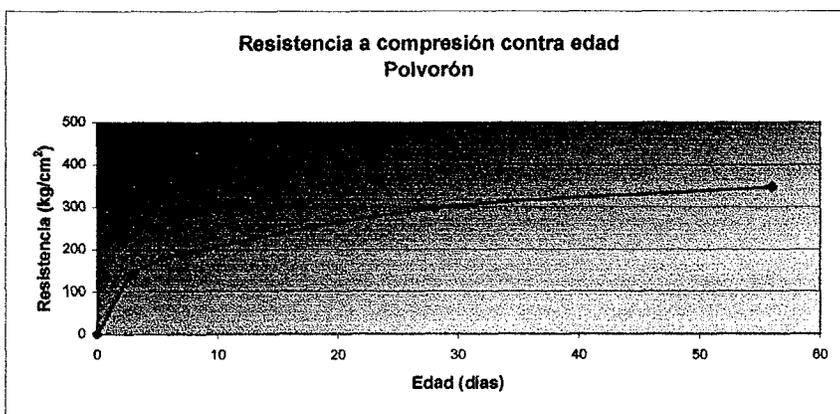
Expresión	Fórmula	E (MPa)
ACI-2002	$E_c (MPa) = 4730 \sqrt{f'_c}$	26 803
ACI-92	$E_c (MPa) = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900$	18 813
Ahmad y Shah	$E_c (MPa) = 8800 \cdot (f'_c)^{0,325}$	27 173
Carrasquillo et al	$E_c (MPa) = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot (w_c / 2300)^{1,5}$	21 148
Aragón Masís	$E_c (MPa) = 2841 \sqrt{f'_c} + 7641$	23 741



**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Polvorón)**

**Resistencias a compresión de los especímenes**  
ASTM C-39/C39 M-03

Edad (días)	No. espécimen	Resistencia			
		(lb)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
3	1		26 222	148	14,6
	2		25 315	143	14,1
	3		24 358	138	13,5
	Promedio		25 298	143	14,0
	Desviación			5	0,5
7	1	75 000	34 050	193	18,9
	2	77 000	34 958	198	19,4
	3	69 000	31 326	177	17,4
	Promedio	73 667	33 445	189	18,6
	Desviación			11	1,0
28	1		51 619	292	28,7
	2		53 583	303	29,7
	3		53 102	300	29,5
	4		52 109	295	28,9
	Promedio		52 603	298	29,2
Desviación			5	0,5	
56	1		59 752	338	33,2
	2		62 192	352	34,5
	3		62 364	353	34,6
	4		60 772	344	33,7
	Promedio		61 270	347	34,0
Desviación			7	0,7	





**Propiedades de concretos  
(empleando agregado grueso tipo Polvorón)**

**Densidad de concreto endurecido  
ASTM C-567-04**

Masa de agregado fino seco (kg)	144,5
Masa de agregado grueso seco (kg)	197,0
Masa de cemento (kg)	96,14
Volumen de mezcla producido (m <sup>3</sup> )	0,212
Densidad de concreto seco calculada (kg/m <sup>3</sup> )	2 155
Densidad de equilibrio aproximada (kg/m <sup>3</sup> )	2 205

**Módulo de rotura  
ASTM C-78**

	Viga 1	Viga 2
Carga última (kg)	3 647	3 311
Largo promedio (cm)	53,2	53,0
Ancho promedio (cm)	15,3	15,2
Altura promedio (cm)	15,2	15,4
Módulo rotura a 56 días (MPa)	4,70	4,15
Módulo de rotura a 28 días (MPa)		3,80

**Módulo de elasticidad  
(Aproximaciones, Ref. (4))**

Expresión	Fórmula	E (MPa)
ACI-2002	$E_c (MPa) = 4730 \sqrt{f'_c}$	25 560
ACI-92	$E_c (MPa) = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900$	17 941
Ahmad y Shah	$E_c (MPa) = 8800 \cdot (f'_c)^{0.325}$	26 348
Carraquillo et al	$E_c (MPa) = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot (w_c / 2300)^{1.5}$	22 533
Aragón Masís	$E_c (MPa) = 2841 \sqrt{f'_c} + 7641$	22 994



## Anexo No. 8

### Características físicas y mecánicas de agregados (gruesos y finos) y cemento, diseños de mezcla y resistencias a compresión de especímenes cilíndricos según fuente bibliográfica consultada

<b>Fuente bibliográfica estudiada</b>	Fuente Título de la fuente Autor Fecha
<b>Agregado grueso</b>	Procedencia Tipo de material Pesos específicos ( $G_s$ , $G_{bs}$ , $G_{bsss}$ ) Absorción Pesos unitarios (suelto y envarillado) Tenacidad y abrasión Tamaño máximo Contenido de partículas laminadas y elongadas Sanidad
<b>Granulometría de agregados gruesos</b>	Granulometría utilizada Granulometría corregida utilizada (si necesario) Especificación – valores máximo y mínimo
<b>Agregado fino</b>	Procedencia Tipo de material Pesos específicos ( $G_s$ , $G_{bs}$ , $G_{bss}$ ) Absorción Pesos unitarios (suelto y envarillado) Sanidad Colorimetría Granulometría y módulo de finura
<b>Granulometría de agregados finos</b>	Granulometría utilizada y MF Granulometría corregida utilizada (si necesario) y MF Especificación – valores máximo y mínimo
<b>Cemento</b>	Procedencia Tipo de cemento Gravedad específica Consistencia normal Tiempo de fraguado Finura Resistencia a compresión de mortero
<b>Concreto</b>	Materiales utilizados Relación A/C utilizada Revenimiento Uso de aditivo Proporción utilizada para la mezcla Tamaño del cilindro Número de especímenes ensayados Resistencia a compresión

## Fuentes bibliográficas relacionadas con fabricación de concretos

Fuente	Tipo de fuente	Nombre de la fuente	Autor	Fecha Mes Año
1	Tesis - UCR	Efecto de aditivos acelerantes en concretos convencionales	Joaquín Bernal Talavera Román	Enero 2004
2	Tesis - UCR	Relación entre resistencia y temperatura del concreto utilizando el método de madurez	Erick Roberto Rodríguez Araica	Abril 2004
3	Tesis - UCR	Determinación del módulo de elasticidad de concretos normales y de alto desempeño en Costa Rica	Sergio Aragón Masís	Julio 2004
4	Tesis - UCR	Estudio para determinar la viabilidad de aprovechar los residuos de concreto premezclado en estado fresco, para la producción de nuevos concretos	Gabriel Madrigal González	Agosto 2004
5	Tesis - UCR	Retracción del concreto fabricado con cemento y agregados de Costa Rica	Jorge Arturo Monge Víquez	Diciembre 2003
6	Tesis - UCR	Concreto de alto desempeño autonivelante para columnas prefabricadas	Karla Patricia López Achío	Agosto 2002
7	Tesis - TEC	Evaluación y revisión de las proporciones recomendadas para mezclas de concreto en obras menores utilizando dos fuentes de agregados nacionales	Alexis Fernández Umaña y Álvaro Salas Campos	Agosto 2002
8	Tesis - TEC	Implementación de tecnología para el diseño de mezclas secas en elementos prefabricados vibrocompactados	Manuel Alan Zúñiga y Olman Clark Martínez	Agosto 2002
9	Tesis - UCR	Comparación técnico económica entre concretos producidos con cemento Portland Tipo I MP y cemento Portland Tipo I Normal	Esteban Acón Rojas	2002
10	Tesis - UCR	Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en mezclas de concreto	Fabio Ulate Retana	2001
11	Tesis - UCR	El efecto de las arenas de tajo sobre la trabajabilidad del concreto	Manuel De San Román Aguilar	Julio 2001
12	Tesis - UCR	Concreto reforzado con fibras de polipropileno	Ivan Koss Lípec	Julio 2001
13	Tesis - UCR	Uso de un aditivo antideslave en una mezcla para un concreto sumergido	Bruce Jossé Hernández Quesada	2001
14	Tesis - UCR	Influencia del agregado grueso de cuatro fuentes nacionales en mezclas de concreto	José Pablo De Mézerville Masís	2000
15	Tesis - UCR	Concretos y morteros modificados con polímeros	Bernardo Torres Salazar	Julio 2000
16	Tesis - UCR	Control de calidad del concreto estructural y del mortero de pega en viviendas	Mauncio Araya Rodríguez	1998
17	Tesis - UCR	Influencia del material pasando la malla #200 (ASTM) en mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland con adiciones	Juan Carlos Oreamuno Hernández	Enero 1996
18	Tesis - UCR	Nuevas fuentes de agregados para la producción de concretos de mediana resistencia	Jorge Eduardo Milanés Méndez	Diciembre 1990
19	Tesis - UCR	Utilización de moldes de PVC DE 102 x 204 mm para el control de calidad del concreto	Luis Chasi Prestinary y Rodolfo Montero Chacón	Junio 1989
20	Tesis - UCR	Producción de concretos de mediana resistencia en Costa Rica	Luis Carlos Meseguer Quesada	Diciembre 1987
21	Tesis - UCR	Influencia de los aditivos superplastificantes en la producción de concreto de alta resistencia	Douglas Sáenz Montero	Diciembre 1987
22	Tesis - UCR	Producción de concreto de alta resistencia en Costa Rica	Alvaro Camacho De Pass	Diciembre 1985
23	Tesis - UCR	Influencia del agregado grueso en la producción de concretos de mediana resistencia	Bernardo José Alfaro Araya	Diciembre 1984

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada

Piedra No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia	Tipo de material	Pesos específicos			% Absorción
					G <sub>s</sub>	G <sub>sa</sub>	G <sub>sat</sub>	
1	1	2004	Río Guápiles (MECO)	Río	2,77	2,64	2,68	1,96
2	2	2004	Quebrador Guápiles, grava 16 mm	NS	2,78	2,66	2,70	1,62
3	2	2004	Quebrador Guápiles, grava 12 mm	NS	2,78	2,66	2,70	1,62
4	2	2004	Combinación: Quebrador Guápiles grava 19 mm + grava 12 mm	NS	NS	NS	NS	NS
5	3	2004	Piedra quebrada del Quebrador Guápiles	NS	2,77	2,63	2,68	1,86
6	3	2004	Piedra quebrada del Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,70	2,51	2,58	2,86
7	4	2004	Piedra cuartilla, Tajo Guápiles, Pococí, Limón	Tajo	2,81	2,65	2,71	2,10
8	5	2003	Quebrador Cerro Minas 25.4 mm, Santa Ana	Tajo	2,71	2,50	2,58	3,08
9	5	2003	Quebrador Cerro Minas 19.1 mm, Santa Ana	Tajo	2,67	2,46	2,54	3,22
10	5	2003	Quebrador Cerro Minas, Piedra quintilla (9,52 mm), Santa Ana	Tajo	2,72	2,50	2,58	3,30
11	5	2003	Piedra de 19,1 mm, Río Suco, Guápiles	Río	2,76	2,55	2,62	2,94
12	5	2003	Piedra quinta, Río Suco, Guápiles	Río	2,85	2,70	2,75	2,00
13	5	2003	Combinación: Quebrador Cerro Minas (31,41%) y Piedra de Guápiles (68,59%), 19.1 mm	Tajo y río	2,73	2,52	2,60	3,00
14	6	2002	Cerro Minas, Santa Ana (12,5 mm)	Tajo	2,67	2,45	2,53	3,31
15	6	2002	Quebrador Guápiles, río Suco (19 mm)	Río	2,78	2,60	2,66	2,44
16	7	2002	Piedra Grande, río Toro Amarillo, Guápiles (original)	Río	2,79	2,75	2,80	1,89
17	7	2002	Piedra Grande, río Toro Amarillo, Guápiles (corregido)	Río	2,76	2,66	2,70	1,33
18	7	2002	Cerro Minas, adquirido en Heredia (original)	Tajo	2,77	2,56	2,64	2,95
19	7	2002	Cerro Minas, adqundo en Heredia (corregido)	Tajo	2,69	2,27	2,43	6,94
20	8	2002	Quebrador Orosí, piedra quinta	NS	NS	2,62	2,75	1,78
21	8	2002	Quebrador Cerro Minas, piedra quinta	Tajo	NS	1,92	2,18	6,20
22	9	2002	Río Guápiles	Río	2,75	2,64	2,68	1,54
23	10	2001	Cerro Minas, Santa Ana, San José	Tajo	2,63	2,44	2,51	2,88
24	10	2001	Turrúcares, Atajuela	Tajo	2,65	2,50	2,56	2,88
25	10	2001	Río Esmeralda, Zona Atlántica	Río	2,76	2,68	2,63	1,90

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Piedra No.	Pesos unitarios		% Tenacidad	% Abrasión	Tamaño máximo (mm)		Índice de partículas laminadas	Índice de partículas elongadas	Santidad
	Fracción (kg/m <sup>3</sup> )	Fr. fina (kg/m <sup>3</sup> )			Efectivo	Nominal			
1	1567	1481	NS	NS	25,4	19,1	NS	NS	NS
2	NS	1409	NS	24,8	NS	16	NS	NS	NS
3	NS	1409	NS	24,8	NS	12	NS	NS	NS
4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	1620	1500	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	1600	1500	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
8	1660	1420	NS	NS	38,1	25,4	NS	NS	NS
9	1628	1537	NS	NS	25,4	19,1	NS	NS	NS
10	1480	1297	NS	NS	12,7	9,53	NS	NS	NS
11	1630	1540	NS	NS	25,4	19,1	NS	NS	NS
12	1580	1297	NS	NS	19,1	12,7	NS	NS	NS
13	1619	1629	NS	NS	19,1	NS	NS	NS	NS
14	1440	NS	NS	23,5	NS	NS	NS	NS	NS
15	1480	NS	NS	20,2	NS	NS	NS	NS	NS
16	1526	1422	NS	NS			NS	NS	NS
17	1424	1317	NS	22,4			NS	NS	NS
18	1365	1292	NS	NS			NS	NS	NS
19	1273	1185	NS	25,3			NS	NS	NS
20	1480	1311	NS	NS	NS	12,55	NS	NS	NS
21	1373	1278	NS	NS	NS	12,58	NS	NS	NS
22	1545	1457	NS	NS	NS	NS	NS	≈ 0	NS
23	1412	1320	NS	17,0	25,4	19,1	NS	<15%	2,96
24	1392	1282	NS	10,0	37,5	37,4	NS	>15%	3,61
25	1503	1395	NS	17,0	19,1	19,1	NS	<15%	0,95

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Piedra No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia	Tipo de material	Pesos específicos			% Absorción
					G <sub>s</sub>	G <sub>15s</sub>	G <sub>150s</sub>	
17	11	2001	Tajo La Esmeralda, cuartilla	Tajo	2,75	2,63	2,67	1,64
18	12	2001	Quebrador Cerro Minas, Santa Ana	Tajo	2,67	2,54	2,47	3,07
19	13	2001	Caliza de Nicoya, Guanacaste (cuarta)	Tajo	2,70	2,68	2,68	0,29
20	13	2001	Caliza de Nicoya, Guanacaste (quintilla)	Tajo	2,70	2,67	2,68	0,41
21	13	2001	Combinación: calizas de Nicoya cuarta (52%) y quintilla (48%)	Tajo				
22	14	2000	Quebrador Ochomogo	Tajo	2,67	2,48	2,55	2,86
23	14	2000	Quebrador Cóncevas	Tajo	2,83	2,65	2,72	2,40
24	14	2000	Quebrador Orosí	Río	2,79	2,67	2,71	1,62
25	14	2000	Quebrador Guápiles, río Blanco	Río	2,79	2,64	2,69	2,00
26	15	2000	Quebrador Cerro Minas, Santa Ana (piedra quintilla)	Tajo	2,69	2,39	2,51	4,60
27	16	1998	Quebrador Ochomogo	Tajo	2,80	2,40	2,60	6,70
28	16	1998	Quebrador Ochomogo	Tajo	2,70	2,40	2,50	4,40
29	16	1998	Comagsa	Tajo	2,70	2,40	2,50	3,60
30	16	1998	Electriona	Tajo	2,70	2,40	2,50	4,20
31	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,70	2,40	2,50	4,50
32	16	1998	Quebrador Ochomogo	Tajo	2,80	2,40	2,50	5,60
33	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,40	2,60	6,70
34	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,30	2,50	7,00
35	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,70	2,40	2,50	3,60
36	16	1998	Electriona	Tajo	2,80	2,50	2,60	4,10
37	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,50	2,60	3,60
38	16	1998	Quebrador Ochomogo	Tajo	2,90	2,50	2,60	5,00
39	16	1998	Cerro Minas	Tajo	3,00	2,40	2,60	8,00
40	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,70	2,50	2,50	3,80

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Especificación	Pasos unitarios		%	%	Tamaño máximo (mm)		Índice de partículas laminadas	Índice de partículas elongadas	Sandas
	75 mm (kg/m³)	150 mm (kg/m³)			Efectivo	Nominal			
27	1367	1323	NS		19,1	12,7	NS	NS	NS
28	1410	1320	NS		37,5	NS	NS	NS	NS
29	1626	NS	NS	NS					
30	1658	NS	NS	NS					
31						19,1			
32	1440	1364	6,0	26,6	25,4	19,1	11,0%		
33	1496	1444	5,2	19,3	25,4	19,1	14,3%		
34	1541	1490	2,6	12,8	25,4	19,1	5,3%		
35	1529	1434	3,7	15,4	25,4	19,1	7,7%		
36	1372	1289	NS	21,4			NS	NS	NS
37	1399	1270	5,0	20,0			NS	NS	NS
38	1427	1289	5,0	22,0			NS	NS	NS
39	1474	1300	4,0	17,0			NS	NS	NS
40	1559	1406	5,0	21,0			NS	NS	NS
41	1428	1278	3,0	16,0			NS	NS	NS
42	1454	1299	6,0	19,0			NS	NS	NS
43	1399	1270	4,5	20,1			NS	NS	NS
44	1419	1280	5,0	16,0			NS	NS	NS
45	1414	1327	5,0	21,0			NS	NS	NS
46	1481	1328	4,0	18,0			NS	NS	NS
47	1426	1301	7,0	17,0			NS	NS	NS
48	1461	1311	6,0	16,0			NS	NS	NS
49	1384	1252	4,0	21,0			NS	NS	NS
50	1441	1291	4,0	18,0			NS	NS	NS

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Piedra No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia	Tipo de material	Pesos específicos			% Absorción
					G <sub>s</sub>	G <sub>sa</sub>	G <sub>sat</sub>	
62	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,50	2,60	3,30
63	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,40	2,60	5,60
64	16	1998	Electriona	Tajo	2,50	2,30	2,40	3,80
65	16	1998	La Pista	Tajo	2,70	2,40	2,50	4,60
66	16	1998	Pedregal	Tajo	2,70	2,50	2,30	5,70
67	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,80	2,50	2,60	4,10
68	16	1998	Pedregal	Tajo	2,70	2,30	2,40	6,10
69	16	1998	La Garita	Tajo	2,60	2,10	2,30	8,80
70	16	1998	Cerro Minas	Tajo	2,90	2,40	2,60	6,70
71	16	1998	El Común	Tajo	2,60	2,30	2,40	5,80
72	16	1998	La Garita	Tajo	2,60	2,30	2,40	6,30
73	16	1998	El Común	Tajo	2,70	2,20	2,40	8,00
74	16	1998	La Garita	Tajo	2,60	2,20	2,40	5,40
75	18	1998	Comagsa	Tajo	2,90	2,40	2,60	6,70
76	18	1998	Comagsa	Tajo	2,90	2,40	2,60	8,80
77	17	1996	Quebrador Zurquí, La Trinidad de Moravia, sobre el río Virilla	Tajo	2,66	2,47	2,54	2,90
78	18	1990	Quebrador Orosí, río Reventazón, Orosí, Cartago	Río	2,82	2,61	2,67	2,21
79	18	1990	Quebrador Gracor, río Chirripó, ciudad de Limón	Río	2,78	2,59	2,65	2,36
70	18	1990	Quebrador Zurquí, río Virilla, Trinidad de Moravia	Tajo	2,67	2,45	2,54	3,53
71	18	1990	Quebrador Cerrominas, Santa Ana	Tajo	2,73	2,52	2,60	3,21
72	18	1990	Quebrador Ramírez Crexpo (FELUCO), Santa Ana	Tajo	2,55	2,34	2,48	4,00
73	18	1990	Caliza, zona de Las Juntas de Abangares	Tajo	2,83	2,67	2,70	1,04
74	19	1989	Quebrador Ochomogo, El Carmen de Cartago, piedra cuarta	NS	2,69	2,58	2,52	2,47
75	19	1989	Quebrador Ochomogo, El Carmen de Cartago, piedra cuarta	NS	2,70	2,54	2,45	3,90

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Prueba No.	Pasos unitarios		%	%	Tamaño máximo (mm)		Índice de partículas laminadas	Índice de partículas elongadas	Sanidad
	75 mm (kg/m <sup>3</sup> )	150 mm (kg/m <sup>3</sup> )			Tenacidad	Abrasión			
52	1446	1323	4,0	19,0			NS	NS	NS
53	1373	1257	6,0	16,0			NS	NS	NS
54	1473	1327	7,0	20,0			NS	NS	NS
55	1517	1345	7,0	27,0			NS	NS	NS
56	1413	1261	4,0	22,0			NS	NS	NS
57	1401	1281	5,0	15,0			NS	NS	NS
58	1438	1278	5,0	22,0			NS	NS	NS
59	1370	1287	7,0	29,0			NS	NS	NS
60	1426	1297	9,0	17,0			NS	NS	NS
61	1502	1345	6,0	21,0			NS	NS	NS
62	1414	1262	6,0	24,0			NS	NS	NS
63	1450	1299	8,0	18,0			NS	NS	NS
64	1423	1271	4,0	22,0			NS	NS	NS
65	1401	1302	3,0	16,0			NS	NS	NS
66	1402	1282	6,0	19,0			NS	NS	NS
67	1424	1361	NS	19,5	NS	25,4	NS	NS	NS
68	1497	1331	NS	14,5	NS	12,5	NS	NS	NS
69	1500	1347	NS	13,3	NS	12,5	NS	NS	NS
70	1440	1239	NS	20,4	NS	12,7	NS	NS	NS
71	1435	1250	NS	15,8	NS	12,7	NS	NS	NS
72	1390	1328	NS	18,8	NS	12,7	NS	NS	NS
73	1637	1356	NS	27,3	NS	12,5	NS	NS	NS
74	1400	1303	NS	33,5	37,5	NS	NS	NS	NS
75	1515	1432	NS	28,9	25	NS	NS	NS	NS

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Piedra No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia	Tipo de material	Pesos específicos			% Absorción
					G <sub>s</sub>	G <sub>ss</sub>	G <sub>asa</sub>	
77	20	1987	Quebrador Pocamar, río Barranca, Esparza, Puntarenas	Río	2,83	2,61	2,69	2,95
78	20	1987	Quebrador El Ruano, La Trinidad de Moravia	Tajo	2,73	2,52	2,59	3,13
79	20	1987	Quebrador Ochomogo, río Reventado, El Carmen de Ochomogo	Río	2,68	2,47	2,55	3,16
80	20	1987	Quebradores Unidos, río Reventazón, Orosí	Río	2,77	2,51	2,60	3,76
81	20	1987	Quebrador Hnos. Zamora, río Virilla, San Antonio de Belén, Heredia	Río	2,74	2,56	2,63	2,51
82	21	1987	Río Reventazón	Río	2,76	2,52	2,61	3,42
83	22	1985	Río Barranca, Puntarenas, 12,7 mm	Río	2,73	2,57	2,62	2,29
84	22	1985	Río Barranca, Puntarenas, 9,5 mm	Río	2,77	2,59	2,66	2,45
85	22	1985	Río Cañas, 12,7 mm	Río	2,71	2,55	2,61	2,29
86	22	1985	Río Cañas, 9,5 mm	Río	2,77	2,59	2,66	2,50
87	22	1985	Río Reventazón, 25,4 mm	Río	2,78	2,65	2,70	1,69
88	22	1985	Río Reventazón, 19,1 mm	Río	2,74	2,60	2,63	1,95
89	22	1985	Río Reventazón, 12,7 mm	Río	2,77	2,61	2,66	2,27
90	22	1985	Río Reventazón, 9,5 mm	Río	2,76	2,56	2,63	2,80
91	23	1984	INCSA, Cartago	NS	NS	NS	NS	1,54
92	23	1984	El Ruano, Moravia	NS	NS	NS	NS	2,62
93	23	1984	Nicoya	NS	NS	NS	NS	0,37
94	23	1984	Turrialba	NS	NS	NS	NS	2,45
95	23	1984	Santa Rosa, Moravia	NS	NS	NS	NS	2,86
96	24	1983	Orosí, río Reventazón (piedra cuarta)	Río	NS	NS	NS	NS
97	24	1983	Orosí, río Reventazón (piedra cuartilla)	Río	2,76	2,62	2,67	1,90
98	24	1983	Orosí, río Reventazón (piedra quintilla)	Río	2,68	2,53	2,59	2,20

Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Piedra No.	Pesos unitarios		% Tenacidad	% Abrasión	Tamaño máximo (mm)		Índice de partículas laminadas	Índice de partículas elongadas	Sanidad
	19,5 mm (kg/m <sup>3</sup> )	7,5 mm (kg/m <sup>3</sup> )			Efectivo	Nominal			
77	1483	1335	NS	29,2	NS	12,7	NS	NS	NS
78	1591	1414	NS	26,0	NS	12,7	NS	NS	NS
79	1482	1304	NS	30,7	NS	12,7	NS	NS	NS
80	1557	1429	NS	21,3	NS	12,7	NS	NS	NS
81	1465	1305	NS	18,0	NS	12,7	NS	NS	NS
82	1518	1419	NS	17,1	NS	9,5	NS	NS	NS
83	1441	1365	NS	21,5	NS	12,7	NS	NS	NS
84	1486	1413	NS	21,5	NS	9,5	NS	NS	NS
85	1357	1258	NS	23,3	NS	12,7	NS	NS	NS
86	1408	1308	NS	23,3	NS	9,5	NS	NS	NS
87	1428	1343	NS	17,1	NS	25,4	NS	NS	NS
88	1445	1357	NS	17,1	NS	19,1	NS	NS	NS
89	1469	1378	NS	17,1	NS	12,7	NS	NS	NS
90	1527	1437	NS	17,1	NS	9,5	NS	NS	NS
91	NS	NS	NS	24,3	NS	12,7	NS	NS	NS
92	NS	NS	NS	26,5	NS	19,1	NS	NS	NS
93	NS	NS	NS	30,8	NS	19,1	NS	NS	NS
94	NS	NS	NS	29,8	NS	19,1	NS	NS	NS
95	NS	NS	NS	24,5	NS	19,1	NS	NS	NS
96	NS	1439	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
97	NS	1417	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
98	NS	1371	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Granulometría de agregados gruesos empleados en concretos según fuente indicada

Granulometría		Piedra No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		Fuente Bibliográfica No.	1	2	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	
		Año	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2003	2003	2003	2003	2003
		Agregados gruesos	Procedencia del agregado	Río Guápiles	Quebrador Guápiles	Quebrador Guápiles	Combinación: Quebrador Guápiles	Quebrador Guápiles	Quebrador Cerro Minas	Tajo Guápiles	Quebrador Cerro Minas	Quebrador Cerro Minas	Quebrador Cerro Minas	Río Suño	Río Suño
	No. Malla	Malla (mm)													
Granulometría natural	1 1/2"	38,1									100	100	100	100	
	1"	25,4	100,00	100	100						100	100	100	100	
	3/4"	19,1	79,18	87,85	87,85			100	100	100,0	62,47	100	100	100	
	1/2"	12,5	19,30	34,89	34,89			100	90,6	87,0	41,39	91,84	100	87,85	
	3/8"	9,5	3,43	12,54	12,54			95,5	47,2	33,0	22,82	58,44	100	32,36	
	No. 4	4,75	0,00	3,43	3,43			69	28,1	12,0	11,85	38,59	82,5	15,14	
	No. 8	2,38		2,26	2,26			11,2	7,8	3,0	3,57	15,61	15,5	9,51	
	No. 16							4,8	2,9	2,0	1,34	5,73	2,7	6,2	
	No. 30														
	No. 50														
	No. 100														
No. 200				0,98	0,98			1,8	1,2	1,0	0,6	1,51	1,3	1,25	
	No. Malla	Malla (mm)													
Granulometría corregida	1 1/2"	38,1													
	1"	25,4													
	3/4"	19,1													
	1/2"	12,5													
	3/8"	9,5													
	No. 4	4,75													
	No. 8	2,38													
	No. 200														
	No. Malla	Malla (mm)													
Norma - Máximo	1 1/2"	38,1	100								100	100	100	100	
	1"	25,4		100	100			100			55	100	100	100	
	3/4"	19,1	70	100	100			100	100	100	15	100	100	100	
	1/2"	12,5		80	80			100		80	10	80	100	80	
	3/8"	9,5	30	55	55			70	55	55	5	55	100	55	
	No. 4	4,75	5	10	10			15	10	10	3	10	30	10	
	No. 8	2,38		5	5					5	2	5	10	5	
	No. 16														
	No. 30														
	No. 50														
No. 100				1	1						1	1	1,5		
No. 200															
	No. Malla	Malla (mm)													
Norma - Mínimo	1 1/2"	38,1	95								90	100	100	100	
	1"	25,4		100	100			100	100		20	100	100	100	
	3/4"	19,1	35	90	90			100	90	90	0	90	100	90	
	1/2"	12,5		55	55			90		55	0	55	100	55	
	3/8"	9,5	10	20	20			40	20	20	0	20	85	20	
	No. 4	4,75	0	0	0			0	0	0	0	0	10	0	
	No. 8	2,38		0	0					0	0	0	0	0	
	No. 16														
	No. 30														
	No. 50														
No. 100				0	0						0	0	0		
No. 200											0	0	0		











Granulometría de agregados gruesos empleados en concretos según fuente indicada (cont.)

Granulometría		Piedra No.	69	70	71	72	73	74	75	0	77	78
		Fuente Bibliográfica No.	13	15	18	16	18	19	19	19	20	20
		Año	1990	1990	1990	1990	1990	1985	1989	1989	1987	1987
Agregados gruesos		Procedencia del agregado	Quebrador Graciano Chimpo	Quebrador Zurquí, río Virilla	Quebrador Cerrominas	Quebrador Ramírez Crexpo (FELUCO)	Piedra Caliza	Quebrador Ochomogo	Quebrador Ochomogo	Quebrador Ochomogo	Quebrador Pocamar	Quebrador El Ruano
	No. Malla	Malla (mm)										
Granulometría natural	1 1/2"	38,1				100		100	100			
	1"	25,4				96,7		52	100			
	3/4"	19,1						19	97		100	99,4
	1/2"	12,5	99,2	100	99,7	50,8	99,4	9	67	100	99,7	87,3
	3/8"	9,5	77,9	94,0	87,5	8,3	72,1	6	41	100	77,2	41,7
	No. 4	4,75	18,3	24,8	21,6	11,6	37,8	3	12	58	7,5	24,3
	No. 8	2,38	3,9	10,9	9,8	8,3	21,4	2			2,5	19,2
	No. 16		2,7	7,8	8,5		16,7					
	No. 30											
	No. 50											
No. 100												
No. 200			2,0	3,8	5,5	2,8	3,4				0,7	4,6
Granulometría corregida	No. Malla	Malla (mm)										
	1 1/2"	38,1				100						
	1"	25,4				96,4						
	3/4"	19,1										100,0
	1/2"	12,5				47,8						100,0
	3/8"	9,5										59,2
	No. 4	4,75				4,9						31,5
No. 8	2,38				1,4						23,2	
No. 200					1,4						0,0	
Norma - Máximo	No. Malla	Malla (mm)										
	1 1/2"	38,1				100		100				
	1"	25,4				100						
	3/4"	19,1						70	70	70	100	100
	1/2"	12,5	100	100	100	60	100	30	30	30	100	100
	3/8"	9,5	100	100	100		100	30	30	30	70	70
	No. 4	4,75	30	30	30	10	30	5	5	5	15	15
	No. 8	2,38	10	10	10	5	10				5	5
	No. 16		5	5	5		5					
No. 200		1	1	1	1	1				0	0	
Norma - Mínimo	No. Malla	Malla (mm)										
	1 1/2"	38,1				100		95	95	95		
	1"	25,4				95						
	3/4"	19,1						35	35	35	100	100
	1/2"	12,5	100	100	100	25	100				90	90
	3/8"	9,5	85	85	85	0	85	10	10	10	40	40
	No. 4	4,75	10	10	10	0	10	0	0	0	0	0
	No. 8	2,38	0	0	0	0	0				0	0
	No. 16		0	0	0	0	0					
	No. 200		0	0	0	0	0				0	0





Características de agregados finos empleados en fabricación de concretos segun fuente indicada

Arena No.	Bibliografía No.	Año	Procedencia del agregado	Tipo de muestra	Pesos específicos			Pesos unitarios			Coloración	
					G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	Absorción %	γ <sub>1</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	γ <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		γ <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
1		2004	Río Guápiles	Río	2.51	2.60	2.77	3.85	1638	1493	NS	Coloración marrón rojizo oscuro; arena, suelo o limo malos
2		2004	Quebrador Guápiles, arena natural	Industrial	2.58	2.65	2.78	2.79	NS	1437	NS	NS
2		2004	Combinación: Quebrador Guápiles, arena natural + industrial	Industrial y río	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3		2004	Arena industrial, Guápiles	Industrial	2.61	2.68	2.80	2.56	1820	1700	NS	NS
3		2004	Arena de río, Guápiles	Río	2.61	2.60	2.77	3.70	NS	NS	NS	NS
4		2004	Arena industrial, Guápiles	Industrial	2.58	2.67	2.82	3.31	NS	NS	NS	NS
4		2004	Combinación: 43,2% industrial y 56,8% de río, Guápiles	Industrial y río	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5		2003	Arena industrial de Quebrador Cerro Minas, Santa Ana	Industrial	2.44	2.53	2.69	3.76	1524	1451	NS	NS
5		2003	Arena industrial de Guápiles	Industrial	2.60	2.67	2.78	2.50	1560	1490	NS	NS
5		2003	Arena de río de Guápiles	Río	2.52	2.61	2.76	3.41	1694	1593	NS	NS
5		2003	Arena de bajo Guacalillo	Tajo	2.14	2.34	2.69	9.53	1277	1154	NS	NS
5		2003	Combinación: Arena industrial Cerro Minas (43,92%) y de río (56,08), Guápiles	Industrial y río	2.56	2.63	2.77	3.00	1635	1548	NS	NS
5		2003	Combinación: Arena industrial Cerro Minas (43,92%) y de río Guápiles (56,08%)	Industrial y río	2.49	2.58	2.73	3.60	1619	1531	NS	NS
6		2002	Quebrador Cerro Minas	Industrial	2.51	2.58	2.70	2.88	1470	NS	NS	NS
6		2002	Guápiles	Río	2.60	2.61	2.81	4.41	1820	NS	NS	NS
6		2002	Caldera	Mar	2.37	2.52	2.80	6.50	1310	NS	NS	NS
6		2002	Combinación: Quebrador Cerro Minas y arena de Caldera	Industrial y Mar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6		2002	Combinación: Arena de Guápiles y arena de Caldera	Río y mar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7		2002	Piedra Grande, río Toro Amarillo, Guápiles (original)	Río	2.52	2.62	2.79	3.87	NS	1515,00	NS	No contiene sustancias dañinas
7		2002	Piedra Grande, río Toro Amarillo, Guápiles (corrégido)	Río	2.55	2.64	2.81	3.57	NS	1595,00	NS	No contiene sustancias dañinas
7		2002	Cerro Minas (original)	Tajo	1.68	1.98	2.42	18.43	NS	974,00	NS	No contiene sustancias dañinas
7		2002	Cerro Minas (corrégido)	Tajo	1.79	2.03	2.37	13.65	NS	1153,00	NS	No contiene sustancias dañinas
8		2002	Río Chirripó	Río	NS	NS	NS	NS	NS	1443	NS	NS

Características de agregados finos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Arena No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia del agregado	Tipo de material	Pesos específicos				Pesos unitarios		Cantidad	Colorimetría
					G <sub>ss</sub>	G <sub>ss</sub>	G <sub>s</sub>	% Absorción	T <sub>1</sub> empujado (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>1</sub> suelto (kg/m <sup>3</sup> )		
26	8	2002	Quebrador Cerro Minas	Tajo	NS	NS	NS	3,03	817	793	NS	NS
27	9	2002	Río Guápiles	Río	2,50	2,56	2,66	2,38	1724	1631	NS	NS
28	10	2001	Río Sucio, Guápiles	Río	2,58	2,65	2,76	2,50	1680	1620	3,58	<500 ppm
29	11	2001	Tajo Guacalillo	Tajo	1,85	2,16	2,68	16,80	1264	1235	NS	NS
30	11	2001	Tajo La Lindora	Tajo	2,02	2,15	2,31	6,30	2119	2113	NS	NS
31	11	2001	Tajo La Garita	Tajo	1,91	2,05	2,23	7,50	1052	1002	NS	NS
32	11	2001	Tajo El Polvorón	Tajo	1,98	2,21	2,56	11,40	1278	1226	NS	NS
33	11	2001	Quebrador Cerro Minas, Santa Ana	Tajo	2,32	2,40	2,53	3,60	1098	1356	NS	NS
34	11	2001	Arena de río de Guápiles	Río	2,70	2,77	2,89	2,46	1651	1549	NS	NS
35	12	2001	Quebrador Cerro Minas, Santa Ana	Tajo	2,40	2,47	2,60	13,95	1550	1320	NS	NS
36	13	2001	Río Tempisque	Río	2,50	2,62	2,85	2,44				
37	14	2000	Río Sucio, Guápiles	Río	2,58	2,65	2,76	2,50	1680	1620	3,58	<500 ppm
38	15	2000	Tajo en Guápiles, CONANSA	Río	2,44	4,86	2,54	1,70	1743	1592	NS	
39	16	1998	Quebrador Cochomogo	Tajo	2,00	2,30	2,80	13,00	1406	1239		< 500 ppm
40	16	1998	Quebrador Cochomogo	Tajo	2,00	2,30	2,70	13,20	1360	1206		< 500 ppm
41	16	1998	COMAGSA	Tajo	1,90	2,20	2,70	15,30	1598	1294		< 500 ppm
42	16	1998	Electriona	Tajo	2,00	2,30	2,70	12,60	1327	1141		< 500 ppm
43	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	1,90	2,20	2,70	14,10	1571	1330		< 500 ppm
44	16	1998	Quebrador Cochomogo	Tajo	2,00	2,20	2,70	13,50	1285	1181		< 500 ppm
45	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,30	2,70	13,10	1636	1367		< 500 ppm
46	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	1,90	2,20	2,70	14,90	1528	1333		< 500 ppm
47	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,10	2,30	2,80	12,40	1484	1392		< 500 ppm
48	16	1998	Electriona	Tajo	2,10	2,30	2,80	11,80	1346	1181		< 500 ppm
49	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,30	2,80	15,60	1511	1341		< 500 ppm
50	16	1998	Quebrador Cochomogo	Tajo	2,00	2,20	2,70	13,60	1362	1201		< 500 ppm

Características de agregados finos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Arena No.	Fuente Enteográfica No.	Año	Procedencia del agregado	Tipo de material	Pesos específicos				Pesos unitarios		Sanidad	Colorimetría
					G <sub>sat</sub>	G <sub>seco</sub>	G <sub>s</sub>	% Absorción	γ <sub>travésado</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	γ <sub>seco</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		
4	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,20	2,70	14,00	1547	1359		< 500 ppm
5	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,20	2,70	13,70	1617	1353		< 500 ppm
6	16	1998	Electrona	Tajo	2,00	2,30	2,70	13,40	1444	1292		< 500 ppm
7	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,20	2,70	14,00	1530	1361		< 500 ppm
8	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	1,90	2,30	2,80	16,20	1495	1339		< 500 ppm
9	16	1998	Electrona	Tajo	2,00	2,30	2,70	12,00	1295	1158		< 500 ppm
10	16	1998	Quebrador Ochomogo	Río	2,30	2,40	2,60	6,10	1575	1384		> 500 ppm
11	16	1998	Pedregal	Tajo	1,90	2,20	2,70	15,20	1535	1341		< 500 ppm
12	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,00	2,30	2,70	13,80	1422	1289		< 500 ppm
13	16	1998	Pedregal	Tajo	1,90	2,20	2,70	14,10	1672	1390		< 500 ppm
14	16	1998	La Garita	Tajo	2,20	2,40	2,80	9,20	1554	1353		< 500 ppm
15	16	1998	Quebrador Cerro Minas	Tajo	2,10	2,30	2,70	10,80	1360	1289		< 500 ppm
16	16	1998	El Común	Tajo	2,20	2,40	2,70	9,30	1495	1308		< 500 ppm
17	16	1998	La Garita	Tajo	2,10	2,30	2,80	13,10	1540	1341		< 500 ppm
18	16	1998	El Común	Tajo	2,20	2,40	2,80	10,10	1442	1273		< 500 ppm
19	16	1998	La Garita	Tajo	2,00	2,30	2,80	14,10	1502	1290		< 500 ppm
20	16	1998	Comagsa	Tajo	2,00	2,20	2,70	13,40	1517	1320		< 500 ppm
21	16	1998	Comagsa	Tajo	2,00	2,30	2,70	13,80	1425	1245		< 500 ppm
22	17	1996	Tajo La Aduana, La Garita de Alajuela, natural	Tajo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	< 500 ppm
23	17	1996	Tajo La Aduana, La Garita de Alajuela, 5% pasando malla 200	Tajo	1,97	2,11	2,31	8,10	1220,9	1139,6	NS	NS
24	17	1996	Tajo La Aduana, La Garita de Alajuela, 12% pasando malla 200	Tajo	1,90	2,06	2,25	8,70	1280,1	1159,6	NS	NS
25	17	1996	Tajo La Aduana, La Garita de Alajuela, 25% pasando malla 200	Tajo	1,85	2,04	2,27	10,40	1333,9	1209,5	NS	NS
26	18	1990	Río Reventado, Cartago	Río	2,31	2,48	2,79	9,53	1312	1033	NS	NS
27	16	1990	Quebrador Ramírez Crexpo (FELUCCO), Santa Ana	Tajo	2,32	2,44	2,65	5,49	1584	1372	NS	NS
28	16	1990	Quebrador Cerro Minas, Santa Ana	Tajo	2,33	2,49	2,77	6,84	1310	1037	NS	NS

Características de agregados finos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada (cont.)

Arena No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Procedencia del agregado	Tipo de material	Pesos específicos				Pesos unitarios		Sanidad	Colorimetría
					G <sub>ss</sub>	G <sub>ss'</sub>	G <sub>s</sub>	% Absorción	T <sub>1</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		
76	18	1990	Quebrador Zurquí, río Virilla, Trinidad de Moravia	Río	2,40	2,54	2,79	5,75	1519	1266	NS	NS
77	18	1990	Tajo Florencia, La Carita de Alajuela	Tajo	1,92	2,03	2,15	8,66	1157	1008	NS	NS
78	18	1990	Polvo de piedra caliza, zona de Abangares	Tajo	2,61	2,69	2,80	1,01	1440	1270	NS	NS
79	18	1990	Quebrador Gracor, polvo de piedra del río Chirripó, Limón	Tajo	2,59	2,65	2,77	2,48	1656	1437	NS	NS
80	18	1990	Quebrador Orosl, polvo de piedra del río Reventazón, Orosl	Tajo	2,64	2,71	2,84	2,73	1590	1345	NS	NS
81	19	1989	Quebrador Ochomogo, extráda del río Reventado	Río	2,34	2,47	2,68	5,10	1619	1597	NS	NS
82	20	1987	Puerto Caldera, Puntarenas	Mar	2,58	2,67	2,85	3,73	1784	1653	NS	NS
83	20	1987	Quebrador Pocamar, río Barranca, Esparza, Puntarenas	Río	2,58	2,59	2,79	4,45	1607	1418	NS	NS
84	20	1987	Quebrador El Ruano, La Trinidad de Moravia	Polvo de mezcla	2,56	2,64	2,78	3,14	1682	1431	NS	NS
85	20	1987	Ochomogo, río Reventado, El Carmen de Cartago	Río	2,28	2,43	2,68	6,58	1478	1234	NS	NS
86	20	1987	Quebradores Unidos, río Reventazón, Orosl	Río	2,73	2,83	3,03	3,70	1745	1597	NS	NS
87	20	1987	Tajo La Aduana, La Carita de Alajuela	Tajo	1,75	1,99	2,30	14,00	1205	1049	NS	NS
88	20	1987	Combinación: Puerto Caldera y Tajo Zamora	Tajo y mar	2,55	2,63	2,79	3,40	1793	1661	NS	NS
89	21	1987	Río Reventazón	Río	2,52	2,61	2,78	3,73	1588	1462	NS	NS
90	21	1987	Puerto Caldera	Mar	2,62	2,70	2,86	3,18	1696	1545	NS	NS
91	21	1987	Combinación: 44% de arena Caldera y 56% de arena Reventazón	Río y mar	2,60	2,68	2,81	2,81	1625	1716	NS	NS
92	22	1985	Puerto Caldera (lavada en la 200, pasado por la #8)	Mar	2,46	2,56	2,71	3,66	1693	1653	NS	NS
93	22	1985	Puerto Caldera (lavada en la 200, pasada por la 3/8)	Mar	2,62	2,70	2,84	2,86	1706	1662	NS	NS
94	22	1985	Río Cañas (lavada en la 200, pasada por la 3/8)	Río	2,77	2,84	2,96	2,33	1807	1721	NS	NS
95	22	1985	Río Reventazón (lavada por la 50, pasada por la 3/8)	Río	2,51	2,61	2,79	3,97	1595	1508	NS	NS
96	22	1985	Río Reventazón (lavada por la 200, pasada por la 3/8)	Río	2,53	2,62	2,80	3,76	1604	1515	NS	NS
97	22	1985	Río Urraca (lavada por la 200, pasada por la 3/8)	Río	2,27	2,33	2,41	2,57	1458	1377	NS	NS
98	22	1985	Combinación: 56% de la arena Rev (lavada por la 50) y 44% de la arena Pto. Caldera (pasada por la #8)	Río y mar	2,45	2,55	2,71	3,84	1632	1550	NS	NS
99	22	1985	Combinación: 45% de la arena Rev (lavada por la 50) y 55% de la arena Pto. Caldera (pasada por la #8)	Río y mar	2,52	2,62	2,79	3,82	1646	1563	NS	NS
100	22	1985	Combinación: 35% de la arena Rev (lavada por la 50) y 65% de la arena Pto. Caldera (pasada por la #8)	Río y mar	2,49	2,59	2,75	3,71	1645	1560	NS	NS
101	22	1985	Combinación: 54% de la arena Rev (lavada por la 200) y 46% de la arena Río Cañas	Río	2,42	2,45	2,50	1,21	1606	1518	NS	NS
102	23	1984	Caldera	Mar	NS	NS	NS	3,94	NS	NS	NS	NS
103	24	1983	NS	Río	2,53	2,62	2,78	3,6	NS	1495		Cumple
104	24	1983	NS	Mar	2,68	2,73	2,82	1,8	NS	1620		Cumple

## Características de cementos empleados en concretos según fuente indicada

Cemento No.	Fuente	Año	Procedencia	Tipo de cemento	Gs	Consistencia normal	Tiempo de fraguado	
	Bibliográfica No.						cemento	(%w)
1	1	2004	CEMPA (Cemex)	Portland, Tipo I, MP	2,96	NS	105	200
2	2	2004	Holcim	Aricem				
3	2	2004	Holcim	Ecolcem				
4	3	2004	Holcim	Tipo I MP				
5	3	2004	Holcim	Aricem (Tipo III)				
6	4	2004	Holcim	Ecolcem	2,90			
7	5	2003	Holcim	Portland, Tipo I, Alta Resistencia (Aricem)	3,15			
8	5	2003	Holcim	Portland Tipo I MP/MC	2,90			
9	5	2003	Holcim	Portland IP ASTM C595 (Ecolcem)	2,85			
10	6	2002	Incsa	Aricem (Portland Tipo III)	2,90			
11	6	2002	Incsa	Ecolcem (Portland Tipo IP)				
12	8	2002	Incsa	Extrafino	3,15	NS	NS	NS
13	9	2002	Tarmac (EEUU)	Tipo I	3,10	24,2	98	175
14	9	2002	Florida (EEUU)	Tipo I	3,11	26	140	185
15	9	2002	Supernic (Nicaragua)	ASTM 1157-GU	2,91	28	176	285
16	9	2002	Cempasa	Tipo I MP	2,94	26	115	210
17	9	2002	Incsa	Tipo I MP	2,81	29	200	315
18	10	2001	Incsa	Tipo I MP	2,81	35,0	153	195
19	11	2001	Incsa	Tipo I MP	2,86			



**Características de cementos empleados en concretos según fuente indicada (cont.)**

Cemento No	Fuente	Año	Procedencia	Tipo de cemento	Gs	Consistencia normal (%w)	Tiempo de fraguado	
	Bibliográfica No		cemento				Inicial (min)	Final (min)
20	12	2001	Incsa	Tipo I MP	2,85			
21	13	2001	Incsa	Ecolcem (Portland Tipo IP)	2,90			
22	14	2000	Incsa	Tipo I MP	2,82	28,0	176	245
23	15	2000	Incsa	Tipo I MP	2,81	30,2	212	NS
24	16	1998	Cementos del Pacífico	Tipo I MP	2,96	28,5	144,6	NS
25	17	1996	Incsa	Tipo I MC	3,04	24,1	150	NS
26	17	1996	Incsa	Tipo I P	2,74	29,2	195	NS
27	18	1990	Incsa	Portland, Tipo I, Normal	3,15	23,6	136	186
28	18	1990	Incsa	Portland, Tipo I, Extrafino	3,15	27,1	75	113
29	19	1989	Cementos del Pacífico	Portland Tipo I Normal	NS	26,5	130	NS
30	20	1987	Incsa	Tipo I normal	3,15	23,6	150	NS
31	20	1987	Incsa	Tipo I extrafino	3,15	25,4	138	NS
32	21	1987	Incsa	Tipo I Extrafino	3,15	25,4	138	NS
33	22	1985	Incsa	Normal	3,15	23,6	150	NS
34	22	1985	Incsa	Extrafino	3,15	25,4	140	NS
35	23	1984	Costa Rica	Portland Costa Rica, Tipo I, extrafino	NS	25,0	135	NS
36	24	1983	NS	Portland Tipo I Extrafino	NS	NS	65	115
37	24	1983	NS	Portland Tipo I	NS	NS	NS	NS

Características de cementos empleados en concretos según fuente indicada (cont.)

Cemento No.	Finura			Tabla de flujo		Resistencia a compresión (MPa) de mortero usando arena Ottawa, según edad (días)			
	Con malla #325	Con turbidímetro	Con permeámetro	% de	% Incremento	1	3	7	28
	(%)	Wagner (cm <sup>2</sup> /g)	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	agua	en el flujo				
20									
21									
22			4000	50,0	NS		10,5	15,5	20,3
23	1,4			NS	NS	NS	NS	NS	NS
24	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
25			4528	53	108		13,7	21,6	28,1
26			3978	57	106		10,3	16,6	24,5
27	9,1		3300	48,5	115		15,5	21,6	22,7
28	3,2		4000	56,0	115		18,3	28,7	32,6
29				NS	NS		16,5	26,0	38,9
30	11,9		3200	48,5	120		13,0	20,2	27,6
31	3,2		4000	48,5	120		20,0	24,9	38,8
32	3,2		4000	48,5	102		20,0	24,9	38,8
33	11,9		3300	48,5	120	9,9	18,4	23,3	30,8
34	3,2		4020	48,5	120	10,8	22,3	29,5	40,5
35			4000	NS	NS		20,0	24,9	38,8
36			3800	NS	NS	NS	13,7	22,1	29,8
37	NS	NS	2800	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Corrección	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	AC		Reverimiento (cm)		Tipo (marca)	Aditivo	Cantidad (resistencia en pas 11 mm)
									Téctico (diseño)	Práctico	Téctico (diseño)	Práctico			
1	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.63	NS	15.0		No usd	
2	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.47	NS	17.0		No usd	
3	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.57	NS	17.0		Skament HE 200	0.5
4	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.35	NS	19.0		Skament HE 200	2.5
5	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.48	NS	19.0		Skament HE 200	2.5
6	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.35	NS	22.0		Skament HE 200	2.5
7	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.63	NS	17.5		Pozzolith NC 534	6.5 ml/kg cemento
8	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.47	NS	15.5		Pozzolith NC 534	6.5 ml/kg cemento
9	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.63	NS	17.0		Pozzolith NC 534	29.4 ml/kg cemento
10	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.47	NS	17.0		Pozzolith HE 200	2.5
11	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.57	NS	13.0		Skament HE 200	0.5
12	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.48	NS	10.5		Skament HE 200	2.5
13	1	2004	Ninguna	1	1	1	210	250	NS	0.42	NS	12.0		Skament HE 200	0.5
14	1	2004	Ninguna	1	1	1	350	390	NS	0.35	NS	7.5		Skament HE 200	2.5
15	2	2004	Ninguna	4	4	3	214	NS	0.52	0.52	NS	5.5		SI, no especifica	2 cc/kg cemento
16	2	2004	Ninguna	3	2	2	347	NS	0.29	0.38	NS	3.5		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
17	2	2004	Ninguna	3	2	2	550	NS	0.39	0.34	NS	23.5		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
18	2	2004	Ninguna	3	2	2	703	NS	0.28	0.25	NS	20.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
19	2	2004	Ninguna	4	3	3	214	NS	0.58	0.56	NS	5.0		SI, no especifica	2 cc/kg cemento
20	2	2004	Ninguna	3	2	2	347	NS	0.32	0.40	NS	2.5		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
21	2	2004	Ninguna	3	2	2	550	NS	0.41	0.38	NS	22.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
22	2	2004	Ninguna	3	2	2	703	NS	0.30	0.30	NS	24.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
23	2	2004	Ninguna	4	3	3	214	NS	0.55	0.53	NS	5.5		SI, no especifica	2 cc/kg cemento
24	2	2004	Ninguna	3	2	2	347	NS	0.27	0.40	NS	2.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
25	2	2004	Ninguna	3	2	2	550	NS	0.38	0.31	NS	23.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
26	2	2004	Ninguna	3	3	3	703	NS	0.27	0.28	NS	23.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
27	2	2004	Ninguna	4	3	2	214	NS	0.54	0.51	NS	5.5		SI, no especifica	2 cc/kg cemento
28	2	2004	Ninguna	3	2	2	347	NS	0.30	0.43	NS	4.0		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
29	2	2004	Ninguna	3	2	2	550	NS	0.40	0.36	NS	23.5		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
30	2	2004	Ninguna	3	2	2	703	NS	0.30	0.29	NS	23.5		SI, no especifica	6 cc/kg cemento
31	3	2004	Ninguna	5	5	4	210	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
32	3	2004	Ninguna	5	5	4	210	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
33	3	2004	Ninguna	5	5	4	210	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
34	3	2004	Ninguna	5	5	4	280	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
35	3	2004	Ninguna	5	5	4	280	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
36	3	2004	Ninguna	5	5	4	280	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
37	3	2004	Ninguna	5	5	4	280	NS	0.52	NS	3a 10	NS		No usd	
38	3	2004	Ninguna	5	5	4	350	NS	0.43	NS	3a 10	NS		No usd	
39	3	2004	Ninguna	5	5	4	350	NS	0.43	NS	3a 10	NS		No usd	
40	3	2004	Ninguna	5	5	4	350	NS	0.43	NS	3a 10	NS		No usd	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño	Proporción por peso			Proporción volumétrica (volúmenes máximos)			Número de especímenes del cilindro (mm)	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)
	Cemento	Arena	Piedra	Cemento	Arena	Piedra		
1	2.65	9.00	2.71	152 x 305	30	NS	152 x 305	29.5
2	1.74	9.10	1.97	152 x 305	30	NS	152 x 305	40.4
3	2.65	6.50	2.78	152 x 305	30	NS	152 x 305	28.9
4	1.74	6.80	2.28	152 x 305	30	NS	152 x 305	38.9
5	2.76	5.80	2.91	152 x 305	30	NS	152 x 305	33.0
6	1.88	4.25	1.99	152 x 305	30	NS	152 x 305	46.4
7	2.60	6.56	2.76	152 x 305	30	NS	152 x 305	29.3
8	1.70	6.50	1.94	152 x 305	30	NS	152 x 305	41.2
9	2.53	4.75	2.66	152 x 305	30	NS	152 x 305	36.0
10	1.67	6.56	1.91	152 x 305	30	NS	152 x 305	51.5
11	2.66	6.50	2.79	152 x 305	30	NS	152 x 305	29.9
12	2.79	6.50	2.92	152 x 305	30	NS	152 x 305	30.3
13	1.70	5.65	2.02	152 x 305	30	NS	152 x 305	40.6
14	1.78	5.85	2.12	152 x 305	30	NS	152 x 305	41.1
15	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	30.7
16	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	50.6
17	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	61.4
18	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	84.3
19	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	27.8
20	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	51.7
21	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	64.1
22	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	81.2
23	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	28.4
24	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	41.8
25	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	66.8
26	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	85.2
27	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	37.0
28	NS	NS	NS	152 x 305	18	NS	152 x 305	50.9
29	NS	NS	NS	152 x 305	18	NS	152 x 305	68.0
30	NS	NS	NS	152 x 305	15	NS	152 x 305	87.7
31	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	22.1
32	NS	NS	NS	152 x 305	6	NS	152 x 305	23.6
33	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	21.3
34	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	25.2
35	NS	NS	NS	152 x 305	6	NS	152 x 305	29.4
36	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	31.9
37	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	30.2
38	NS	NS	NS	152 x 305	10	NS	152 x 305	39.5
39	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	41.1
40	NS	NS	NS	152 x 305	12	NS	152 x 305	34.3

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Reventamiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	%
41	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-350	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
42	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-350	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
43	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-350	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
44	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-350	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
45	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-420	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
46	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-420	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
47	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-420	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
48	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-525	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
49	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-525	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
50	3	2004	Ninguna	5	6	5	CAD-525	NS	NS	NS	15 a 18	NS	Superplastificante	NS	
51	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,51	NS	10,5	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
52	4	2004	5% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,54	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
53	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,51	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
54	4	2004	5% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,56	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
55	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,60	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
56	4	2004	5% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,58	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
57	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,52	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
58	4	2004	7% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,54	NS	11,5	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
59	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,59	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
60	4	2004	7% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,56	NS	11,5	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
61	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,53	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
62	4	2004	7% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,54	NS	11,5	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
63	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,63	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
64	4	2004	9% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,64	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
65	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,56	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
66	4	2004	9% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,48	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
67	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,54	NS	13,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
68	4	2004	9% lodo cementoso	7	9	6	210	NS	0,62	0,53	NS	13,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
69	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,51	NS	10,5	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
70	4	2004	100% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,55	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
71	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,51	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
72	4	2004	100% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,60	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
73	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,60	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
74	4	2004	100% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,57	NS	13,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
75	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,52	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
76	4	2004	50% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,54	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
77	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,59	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
78	4	2004	50% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,55	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
79	4	2004	Ninguna	7	9	6	210	NS	0,62	0,53	NS	11,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
80	4	2004	50% agua aclarada	7	9	6	210	NS	0,62	0,55	NS	12,0	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes mástvos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	86	95	100
		%w	%w	%w	%w															
41			NS				NS		152 x 305	16		11,4				35,0				
42			NS				NS		152 x 305	24		5,9				38,9				
43			NS				NS		152 x 305	24		8,1				42,3				
44			NS				NS		152 x 305	24		7,4				34,3				
45			NS				NS		152 x 305	24		13,4				52,5				
46			NS				NS		152 x 305	24						49,3				
47			NS				NS		152 x 305	24		16,2				50,5				
48			NS				NS		152 x 305	22		23,7				58,8				
49			NS				NS		152 x 305	24		19,3				61,7				
50			NS				NS		152 x 305	24		23,0				58,8				
51	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			20,1		29,8	36,4				
52	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			19,2		27,7	33,6				
53	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			20,7		31,5	37,1				
54	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			17,3		26,6	31,9				
55	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			18,0		25,5	32,8				
56	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			19,7		29,8	35,3				
57	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,0		24,4	29,3				
58	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			18,0		26,7	32,4				
59	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,6		26,0	26,0				
60	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			18,5		28,3	34,2				
61	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			18,3		26,8	26,8				
62	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			18,6		27,8	34,2				
63	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			15,8		23,9	29,3				
64	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			15,4		23,2	28,6				
65	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			17,6		26,1	31,0				
66	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			17,5		27,4	31,1				
67	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			16,0		24,5	29,9				
68	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			14,9		24,2	30,5				
69	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			20,1		29,8	36,4				
70	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,3		24,9	33,6				
71	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			20,7		31,5	37,1				
72	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			17,2		27,1	32,4				
73	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			18,0		25,5	32,6				
74	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,9		24,5	28,6				
75	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,0		24,4	29,3				
76	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			15,7		24,4	28,3				
77	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,6		26,0	26,0				
78	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9			16,5		26,6	31,4				
79	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			18,3		26,8	26,8				
80	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9			18,6		26,7	26,7				

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Bibliografía No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C	Revestimiento (cm)	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	Aditivo
81		2004	Ninguna	7	9	6	210	0.62	NS	0.63	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
82		2004	25% agua aclarada	7	9	6	210	0.62	NS	0.64	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
83		2004	Ninguna	7	9	6	210	0.62	NS	0.56	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
84		2004	25% agua aclarada	7	9	6	210	0.62	NS	0.48	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
85		2004	Ninguna	7	9	6	210	0.62	NS	0.54	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
86		2004	25% agua aclarada	7	9	6	210	0.62	NS	0.48	Eucon MR375	2 cc/kg cemento	
87		2003	Ninguna	13	14	8	285	0.57	NS	0.57	No usó		
88		2003	Ninguna	11	15	8	285	0.57	NS	0.57	8.0	11.0	No usó
89		2003	Ninguna	9	15	8	285	0.57	NS	0.62	8.0	8.0	No usó
90		2003	Ninguna	9	13	8	285	0.57	NS	0.57	8.0	3.5	No usó
91		2003	Ninguna	13	15	7	285	0.57	NS	0.57	8.0	6.0	No usó
92		2003	Ninguna	13	15	9	285	0.57	NS	0.57	8.0	11.0	No usó
93		2003	Ninguna	13	15	8	285	0.46	NS	0.46	8.0	5.5	No usó
94		2003	Ninguna	13	15	8	285	0.50	NS	0.50	8.0	7.5	No usó
95		2003	Ninguna	13	15	8	285	0.55	NS	0.55	8.0	6.0	No usó
96		2003	Ninguna	13	15	8	285	0.50	NS	0.60	8.0	9.0	No usó
97		2003	Ninguna	8	15	8	285	0.57	NS	0.66	8.0	7.5	No usó
98		2003	Ninguna	12	15	8	285	0.57	NS	0.66	8.0	7.5	No usó
99		2003	Ninguna	10	15	8	285	0.57	NS	0.66	8.0	5.0	No usó
100		2003	Ninguna	9	13	8	285	0.57	NS	0.64	8.0	9.0	No usó
101		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.40	NS	>23.0	25.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
102		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.40	NS	>23.0	23.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
103		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.40	NS	>23.0	25.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
104		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.42	NS	>23.0	23.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
105		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.37	NS	>23.0	24.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento
106		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.41	NS	>23.0	23.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento
107		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.33	NS	>23.0	26.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
108		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.37	NS	>23.0	25.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento
109		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.33	NS	>23.0	26.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
110		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.33	NS	>23.0	27.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
111		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.33	NS	>23.0	27.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
112		2002	Ninguna	14	NS	10	NS	0.33	NS	>23.0	26.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
113		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.33	NS	>23.0	28.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
114		2002	Ninguna	14	NS	11	NS	0.33	NS	>23.0	27.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento
115		2002	Ninguna	15	NS	10	NS	0.33	NS	>23.0	26.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
116		2002	Ninguna	15	NS	10	NS	0.33	NS	>23.0	24.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
117		2002	Ninguna	15	NS	11	NS	0.33	NS	>23.0	25.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento
118		2002	Ninguna	15	NS	11	NS	0.36	NS	>23.0	18.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
119		2002	Ninguna	15	NS	10	NS	0.29	NS	>23.0	27.0	Advá Cast	12 cc/kg cemento
120		2002	Ninguna	15	NS	10	NS	0.29	NS	>23.0	27.5	Advá Cast	12 cc/kg cemento

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
81	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9					15,8		23,9	29,3		
82	1,00	3,7	NS	2,7	NS		NS		NS	9					14,9		23,4	28,4		
83	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9					17,6		26,1	31,0		
84	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9					17,6		26,1	32,2		
85	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9					16,0		24,5	29,9		
86	1,00	3,7	NS	2,8	NS		NS		NS	9					15,3		23,8	29,5		
87	1,00	2,06	0,00	2,53	0,00	1	2,33	2,91	152 x 305	6					22,2		35,6	39,6		
88	1,00	2,02	0,00	2,55	0,00	1	2,35	2,90	152 x 305	6					20,1		32,1	38,8		
89	1,00	1,97	0,00	2,50	0,00	1	2,30	2,95	152 x 305	6					18,9		30,2	35,1		
90	1,00	1,44	0,00	2,79	0,00	1	1,96	3,29	152 x 305	6					19,1		29,5	32,7		
91	1,00	2,07	0,00	2,53	0,00	1	2,62	3,17	152 x 305	6					28,5		38,7	39,3		
92	1,00	1,99	0,00	2,53	0,00	1	2,28	2,87	152 x 305	6					21,3		32,6	40,0		
93	1,00	1,40	0,00	2,00	0,00	1	1,63	2,30	152 x 305	6					28,7		45,8	52,4		
94	1,00	1,85	0,00	2,22	0,00	1	1,93	2,56	152 x 305	6					26,9		38,4	43,9		
95	1,00	1,90	0,00	2,45	0,00	1	2,21	2,80	152 x 305	6					23,2		34,7	40,8		
96	1,00	2,15	0,00	2,67	0,00	1	2,51	3,06	152 x 305	6					16,5		22,8	29,9		
97	1,00	2,22	0,00	3,57	0,00	1	2,58	4,13	152 x 305	6					12,6		18,5	24,5		
98	1,00	2,23	0,00	2,28	0,00	1	2,60	2,44	152 x 305	6					17,0		29,8	35,5		
99	1,00	2,21	0,00	1,93	0,00	1	2,57	2,23	152 x 305	6					15,8		28,4	30,4		
100	1,00	1,44	0,00	2,79	0,00	1	1,96	3,29	152 x 305	6					8,2		13,9	16,4		
101			NS				NS		152 x 305	NS	4,58	6,91	12,23	31,28	40,9	55,9	68,1			
102			NS				NS		152 x 305	NS	15,66	20,07	25,69	44,17	56,2	72,8	81,2			
103			NS				NS		152 x 305	NS	3,7	4,78	11,48	27	40,7	56,9	64,0			
104			NS				NS		152 x 305	NS	3,6	4,42	10,18	28,51	38,6	56,7	64,4			
105			NS				NS		152 x 305	NS	8,17	13,82	20,19	38,21	51,8	68,8	75,1			
106			NS				NS		152 x 305	NS	15,28	17,33	22,3	42,12	52,0	59,3	67,3			
107			NS				NS		152 x 305	NS	13,18	21,44	27,34	53,21	64,6	79,8	84,1			
108			NS				NS		152 x 305	NS	24,2	26,12	32,12	55,39	64,1	71,6	78,6			
109			NS				NS		152 x 305	NS	7,08	9,97	17,64	43,63	53,3	73,5	82,6			
110			NS				NS		152 x 305	NS	11,03	14,2	19,93	41,85	50,3	66,0	78,1			
111			NS				NS		152 x 305	NS	10,56	15,54	24,43	48,38	60,2	70,0	75,7			
112			NS				NS		152 x 305	NS	25,46	30,75	38,44	59,85	71,6	79,4	81,2			
113			NS				NS		152 x 305	NS	5,87	9,41	16,68	39,8	55,9	70,4	84,4			
114			NS				NS		152 x 305	NS	16,24	19,55	27,63	49,38	62,3	71,9	75,6			
115			NS				NS		152 x 305	NS	12,29	15,73	28,94	45,91	64,0	79,1	84,7			
116			NS				NS		152 x 305	NS	20,79	27,41	32,14	54,45	67,0	80,9	85,6			
117			NS				NS		152 x 305	NS	5,94	7,77	16,29	39,98	54,4	70,6	73,4			
118			NS				NS		152 x 305	NS	15,25	17,25	21,92	44,15	56,4	71,4	78,0			
119			NS				NS		152 x 305	NS	11	13,31	22,26	45,12	60,6	74,0	78,5			
120			NS				NS		152 x 305	NS	30,75	37,23	42,27	64,87	78,3	79,3	81,3			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arenas No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revolimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (en respecto de peso cemento)
121	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,29	>23,0	17,5	Adva Cast	12 cc/kg cemento	
122	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,32	>23,0	21,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
123	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,29	>23,0	27,0	Adva Cast	12 cc/kg cemento	
124	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,32	>23,0	20,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
125	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,29	>23,0	25,0	Adva Cast	12 cc/kg cemento	
126	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,31	>23,0	27,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
127	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,36	>23,0	13,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
128	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,33	>23,0	28,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
129	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,33	>23,0	26,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
130	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,33	>23,0	25,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
131	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,33	>23,0	25,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
132	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,29	>23,0	28,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
133	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,30	>23,0	19,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
134	6	2002	Ninguna	14	NS	11	NS	NS	0,35	>23,0	10,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
135	6	2002	Ninguna	14	NS	11	NS	NS	0,35	>23,0	26,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
136	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,35	>23,0	27,5	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
137	6	2002	Ninguna	15	NS	11	NS	NS	0,33	>23,0	27,0	Plastol 5000	12 cc/kg cemento	
138	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,29	>23,0	27,0	NS	12 cc/kg cemento	
139	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,29	>23,0	27,0	NS	12 cc/kg cemento	
140	6	2002	Ninguna	15	NS	10	NS	NS	0,29	>23,0	25,5	NS	12 cc/kg cemento	
141	7	2002	Metodología INA	16	21	NS	175	NS	0,74	0,90	> 7,5	10,0		No usó
142	7	2002	Metodología INA	16	21	NS	210	NS	0,69	0,58	> 7,5	4,5		No usó
143	7	2002	Metodología INA	17	22	NS	175	NS	0,74	0,98	> 7,5	7,5		No usó
144	7	2002	Metodología INA	17	22	NS	210	NS	0,69	0,68	> 7,5	7,0		No usó
145	7	2002	Ninguna	17	22	NS	175	NS	0,66	0,66	> 7,5	4,5		No usó
146	7	2002	Ninguna	17	22	NS	210	NS	0,59	0,59	> 7,5	7,0		No usó
147	7	2002	Metodología INA	18	23	NS	175	NS	0,74	1,01	> 7,5	5,0		No usó
148	7	2002	Metodología INA	18	23	NS	210	NS	0,69	0,85	> 7,5	5,0		No usó
149	7	2002	Metodología INA	19	24	NS	175	NS	0,74	0,88	> 7,5	10,0		No usó
150	7	2002	Metodología INA	19	24	NS	210	NS	0,69	0,82	> 7,5	4,5		No usó
151	7	2002	Ninguna	19	24	NS	175	NS	0,66	0,94	> 7,5	6,5		No usó
152	7	2002	Ninguna	19	24	NS	210	NS	0,59	0,83	> 7,5	8,5		No usó
153	8	2002	Mezcla seca	20	25	12	350	NS	0,40	NS	0,0	0,0	Fluiment 40	NS
154	9	2002	Ninguna	22	27	13	210	295	0,56	NS	8 a 10	8,5		No usó
155	9	2002	Ninguna	22	27	13	280	365	0,47	NS	8 a 10	10,5		No usó
156	9	2002	Ninguna	22	27	13	350	435	0,40	NS	8 a 10	8,0		No usó
157	9	2002	Ninguna	22	27	14	210	295	0,56	NS	8 a 10	8,5		No usó
158	9	2002	Ninguna	22	27	14	280	365	0,47	NS	8 a 10	9,5		No usó
159	9	2002	Ninguna	22	27	14	350	435	0,40	NS	8 a 10	7,8		No usó
160	9	2002	Ninguna	22	27	15	210	295	0,56	NS	8 a 10	9,0		No usó

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso				Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)										
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena			Piedra	16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
121			NS				NS	152 x 305	NS	10,53	12,75	20,08	40,56	60,4	72,4	82,3				
122			NS				NS	152 x 305	NS	18,97	21,02	25,88	46,48	60,5	74,2	88,4				
123			NS				NS	152 x 305	NS	12,85	18,27	27,22	49,37	66,9	82,1	90,6				
124			NS				NS	152 x 305	NS	24,96	27,74	31,95	52,75	68,9	83,5	88,8				
125			NS				NS	152 x 305	NS	9,51	14,96	21,43	42,93	61,5	80,1	85,3				
126			NS				NS	152 x 305	NS	19,31	20,96	26,78	47,42	59,3	81,9	87,7				
127			NS				NS	152 x 305	NS	11,11	18,32	20,73	42,33	56,4	73,4	80,7				
128			NS				NS	152 x 305	NS	21,62	24,15	32,96	54,88	70,2	80,3	92,7				
129			NS				NS	152 x 305	NS	20,18	26,08	33,24	55,27	67,6	81,0	92,2				
130			NS				NS	152 x 305	NS	27,67	33,77	39,82	63,02	77,1	84,3	95,9				
131			NS				NS	152 x 305	NS	26,13	35,68	42,93	65,71	78,2	87,0	96,8				
132			NS				NS	152 x 305	NS	26,86	33,54	40,67	66,88	77,9	88,9	95,4				
133			NS				NS	152 x 305	NS	19,61	22,6	28,19	51,55	67,7	78,9	88,7				
134			NS				NS	152 x 305	NS	17,21	23,13	26,6	52,44	63,7	79,8	90,4				
135			NS				NS	152 x 305	NS	16,35	22	28,86	50,82	62,9	80,2	97,8				
136			NS				NS	152 x 305	NS	8,45	13,4	20,89	36,98	52,2	71,7	88,6				
137			NS				NS	152 x 305	NS	9,51	15,04	22,84	41,62	59,3	74,3	89,7				
138			NS				NS	152 x 305	NS											
139			NS				NS	152 x 305	NS											
140			NS				NS	152 x 305	NS											
141			NS			1	2	4	NS	12				6,5	12,4					
142			NS			1	1,5	3	NS	12				17,0	28,7					
143			NS			1	2	4	NS	12				4,1	7,1					
144			NS			1	1,5	3	NS	12				13,8	23,0					
145			NS			1	1,73	1,44	NS	12				13,6	19,7					
146			NS			1	1,49	1,29	NS	12				15,8	25,4					
147			NS			1	2	4	NS	12				3,2	6,3					
148			NS			1	1,5	3	NS	12				4,8	9,4					
149			NS			1	2	4	NS	12				4,4	8,7					
150			NS			1	1,5	3	NS	12				7,0	15,7					
151			NS			1	1,6	1,47	NS	12				6,6	13,4					
152			NS			1	1,38	1,31	NS	12				7,8	15,7					
153	1,00	1,79	NS	2,17	NS		NS	NS	6				28,4	32,9	42,2					
154	1,00	2,23	0,00	3,62	0,00		NS	152 x 305	20					26,3	29,9	34,8	38,8			
155	1,00	1,72	0,00	3,02	0,00		NS	152 x 305	20					29,0	32,5	36,0	40,2			
156	1,00	1,34	0,00	2,57	0,00		NS	152 x 305	20					38,1	43,6	43,9	47,1			
157	1,00	2,23	0,00	3,62	0,00		NS	152 x 305	20					24,6	32,4	34,0	34,2			
158	1,00	1,72	0,00	3,02	0,00		NS	152 x 305	20					32,5	35,8	42,2	46,7			
159	1,00	1,34	0,00	2,57	0,00		NS	152 x 305	20					40,1	45,7	47,1	54,5			
160	1,00	2,23	0,00	3,62	0,00		NS	152 x 305	20					15,7	20,8	26,8	26,9			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Árdena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Requerimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad respecto de peso cemento
161	9	2002	Ninguna	22	27	15	280	365	0,47	NS	8 a 10	9,5		No usó
162	9	2002	Ninguna	22	27	15	350	436	0,40	NS	8 a 10	8,0		No usó
163	9	2002	Ninguna	22	27	16	210	295	0,56	NS	8 a 10	8,5		No usó
164	9	2002	Ninguna	22	27	16	280	365	0,47	NS	8 a 10	10,5		No usó
165	9	2002	Ninguna	22	27	16	350	436	0,40	NS	8 a 10	8,3		No usó
166	9	2002	Ninguna	22	27	17	210	295	0,56	NS	8 a 10	8,5		No usó
167	9	2002	Ninguna	22	27	17	280	365	0,47	NS	8 a 10	9,5		No usó
168	9	2002	Ninguna	22	27	17	350	436	0,40	NS	8 a 10	7,8		No usó
169	10	2001	Ninguna	23	28	18	210	250	0,62	0,82	8 a 10	NS		No usó
170	10	2001	Ninguna	23	28	18	250	290	0,56	0,56	8 a 10	NS		No usó
171	10	2001	Ninguna	24	28	18	210	250	0,62	0,62	8 a 10	NS		No usó
172	10	2001	Ninguna	24	28	18	250	290	0,56	0,56	8 a 10	NS		No usó
173	10	2001	Ninguna	25	28	18	210	250	0,62	0,62	8 a 10	NS		No usó
174	10	2001	Ninguna	25	28	18	250	290	0,56	0,56	8 a 10	NS		No usó
175	10	2001	Ninguna	0	28	18	210	250	0,62	0,62	8 a 10	NS		No usó
176	10	2001	Ninguna	0	28	18	250	290	0,56	0,56	8 a 10	NS		No usó
177	11	2001	Ninguna	27	29	19	180	250	NS	0,82	NS	8,5		No usó
178	11	2001	Ninguna	27	29	19	180	250	NS	0,62	8 a 10	10,0		No usó
179	11	2001	Ninguna	27	29	19	210	295	NS	0,68	NS	8,5		No usó
180	11	2001	Ninguna	27	29	19	210	295	NS	0,56	8 a 10	10,0		No usó
181	11	2001	Ninguna	27	29	19	280	365	NS	0,59	NS	8,5		No usó
182	11	2001	Ninguna	27	29	19	280	365	NS	0,47	8 a 10	10,0		No usó
183	11	2001	Ninguna	27	30	19	180	250	NS	0,76	NS	9,0		No usó
184	11	2001	Ninguna	27	30	19	180	250	NS	0,62	8 a 10	8,7		No usó
185	11	2001	Ninguna	27	30	19	210	295	NS	0,70	NS	9,5		No usó
186	11	2001	Ninguna	27	30	19	210	295	NS	0,56	8 a 10	8,0		No usó
187	11	2001	Ninguna	27	30	19	280	365	NS	0,61	NS	10,0		No usó
188	11	2001	Ninguna	27	30	19	280	365	NS	0,47	8 a 10	8,5		No usó
189	11	2001	Ninguna	27	31	19	180	250	NS	0,90	NS	9,0		No usó
190	11	2001	Ninguna	27	31	19	180	250	NS	0,62	8 a 10	10,0		No usó
191	11	2001	Ninguna	27	31	19	210	295	NS	0,84	NS	9,5		No usó
192	11	2001	Ninguna	27	31	19	210	295	NS	0,56	8 a 10	10,0		No usó
193	11	2001	Ninguna	27	31	19	280	365	NS	0,71	NS	8,5		No usó
194	11	2001	Ninguna	27	31	19	280	365	NS	0,47	8 a 10	10,0		No usó
195	11	2001	Ninguna	27	32	19	180	250	NS	0,68	NS	9,0		No usó
196	11	2001	Ninguna	27	32	19	180	250	NS	0,62	8 a 10	8,7		No usó
197	11	2001	Ninguna	27	32	19	210	295	NS	0,62	NS	8,0		No usó
198	11	2001	Ninguna	27	32	19	210	295	NS	0,56	8 a 10	9,2		No usó
199	11	2001	Ninguna	27	32	19	280	365	NS	0,57	NS	10,0		No usó
200	11	2001	Ninguna	27	32	19	280	365	NS	0,47	8 a 10	9,5		No usó

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
161	1,00	1,72	0,00	3,02	0,00		NS		152 x 305	20				18,6	22,3	29,0	31,3			
162	1,00	1,34	0,00	2,57	0,00		NS		152 x 305	20				25,4	32,4	42,5	39,1			
163	1,00	2,23	0,00	3,62	0,00		NS		152 x 305	20				17,1	21,7	30,9	35,5			
164	1,00	1,72	0,00	3,02	0,00		NS		152 x 305	20				23,0	29,0	29,6	31,2			
165	1,00	1,34	0,00	2,57	0,00		NS		152 x 305	20				28,3	31,0	35,7	37,9			
166	1,00	2,23	0,00	3,62	0,00		NS		152 x 305	20				16,5	19,7	31,6	33,5			
167	1,00	1,72	0,00	3,02	0,00		NS		152 x 305	20				24,2	27,4	28,8	34,5			
168	1,00	1,34	0,00	2,57	0,00		NS		152 x 305	20				28,0	31,3	31,5	42,0			
169	1,00	2,30	0,00	3,08	0,00	1,00	2,51	3,54	152 x 305	30		12,0	16,9		21,3					
170	1,00	2,00	0,00	2,80	0,00	1,00	2,19	3,23	152 x 305	30			18,1	23,6		31,3				
171	1,00	2,57	0,00	3,03	0,00	1,00	2,64	3,41	152 x 305	30			9,9	15,3		23,2				
172	1,00	2,00	0,00	2,78	0,00	1,00	2,32	3,09	152 x 305	30			10,6	13,9		23,4				
173	1,00	2,41	0,00	2,96	0,00	1,00	2,52	3,54	152 x 305	30			10,4	14,9		27,2				
174	1,00	2,13	0,00	2,98	0,00	1,00	2,39	2,95	152 x 305	30			10,9	18,9		30,7				
175	1,00	2,31	0,00	2,96	0,00	1,00	2,63	3,15	152 x 305	30			8,1	12,6		18,7				
176	1,00	2,10	0,00	2,98	0,00	1,00	2,20	3,12	152 x 305	30			12,0	19,6		30,6				
177	1,00	2,00	0,00	2,70	0,00				152 x 305	10				13,5		18,3				
178	1,00	1,30	0,00	2,20	0,00				152 x 305	10				15,7		19,3				
179	1,00	1,70	0,00	2,40	0,00				152 x 305	10				13,7		19,2				
180	1,00	1,20	0,00	2,10	0,00				152 x 305	10				15,6		26,6				
181	1,00	1,30	0,00	2,10	0,00				152 x 305	10				15,0		21,9				
182	1,00	0,80	0,00	1,70	0,00				152 x 305	10				22,4		33,5				
183	1,00	2,30	0,00	2,40	0,00				152 x 305	10				12,6		20,4				
184	1,00	1,60	0,00	2,00	0,00				152 x 305	10				22,8		28,5				
185	1,00	2,00	0,00	2,20	0,00				152 x 305	10				18,1		24,8				
186	1,00	1,30	0,00	1,70	0,00				152 x 305	10				25,9		32,0				
187	1,00	1,60	0,00	1,80	0,00				152 x 305	10				15,7		23,1				
188	1,00	0,90	0,00	1,40	0,00				152 x 305	10				30,0		33,3				
189	1,00	1,90	0,00	2,90	0,00				152 x 305	10				10,4		15,9				
190	1,00	0,90	0,00	2,10	0,00				152 x 305	10				17,5		23,2				
191	1,00	1,70	0,00	2,60	0,00				152 x 305	10				13,6		19,6				
192	1,00	0,50	0,00	1,70	0,00				152 x 305	10				18,7		24,9				
193	1,00	1,30	0,00	2,20	0,00				152 x 305	10				15,9		22,6				
194	1,00	0,4	0,00	1,5	0,00				152 x 305	10				21,0		26,5				
195	1,00	2,1	0,00	2,7	0,00				152 x 305	10				15,0		19,4				
196	1,00	1,8	0,00	2,4	0,00				152 x 305	10				20,3		26,9				
197	1,00	1,9	0,00	2,4	0,00				152 x 305	10				15,5		21,6				
198	1,00	1,3	0,00	2,1	0,00				152 x 305	10				21,1		29,0				
199	1,00	1,5	0,00	2,0	0,00				152 x 305	10				19,0		24,9				
200	1,00	0,8	0,00	1,6	0,00				152 x 305	10				25,9		35,5				



Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso				Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)										
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena			Piedra	16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
201	1,00	2,7	0,00	2,3	0,00				152 x 305	10					13,2		22,8			
202	1,00	2,4	0,00	2,2	0,00				152 x 305	10					17,7		26,4			
203	1,00	2,4	0,00	2,1	0,00				152 x 305	10					16,4		26,0			
204	1,00	1,7	0,00	1,8	0,00				152 x 305	10					21,0		33,7			
205	1,00	1,9	0,00	1,6	0,00				152 x 305	10					21,0		28,6			
206	1,00	1,2	0,00	1,4	0,00				152 x 305	10					24,0		40,5			
207	1,00	2,7	0,00	2,5	0,00				152 x 305	10					24,0		24,6			
208	1,00	2,4	0,00	2,3	0,00				152 x 305	10					16,1		28,6			
209	1,00	1,9	0,00	1,9	0,00				152 x 305	10					22,5		35,3			
210	1	2,08	0,00	2,58	0,00				152 x 305	10					16,5		25,4			
211	1	2,08	0,00	2,58	0,00				152 x 305	10					17,4		26,3			
212	1,00	1,70	0,00	2,19	0,00			NS	152 x 305	30					29,2	38,4	41,9	49,1	54,8	
213	1,00	1,70	0,00	2,19	0,00			NS	152 x 305	30					29,0	38,7	42,8	44,6	55,0	
214	1,00	2,36	0,00	2,77	0,00	1,00	2,60	3,17	152 x 305	30					13,2	21,1	29,4			
215	1,00	2,07	0,00	2,52	0,00	1,00	2,26	2,87	152 x 305	30					16,8	23,7	34,2			
216	1,00	2,45	0,00	2,87	0,00	1,00	2,70	3,07	152 x 305	30					11,2	15,7	22,7			
217	1,00	2,15	0,00	2,81	0,00	1,00	2,35	2,78	152 x 305	30					13,3	17,8	27,8			
218	1,00	2,38	0,00	2,96	0,00	1,00	2,60	3,11	152 x 305	30					12,8	18,2	28,7			
219	1,00	2,08	0,00	2,89	0,00	1,00	2,26	2,82	152 x 305	30					14,9	20,1	32,9			
220	1,00	2,37	0,00	2,94	0,00	1,00	2,58	3,12	152 x 305	30					15,0	21,7	31,4			
221	1,00	2,08	0,00	2,67	0,00	1,00	2,28	2,85	152 x 305	30					16,0	23,2	33,6			
222			NS					NS	102 x 203	4					10,6	15,1	23,8	26,9		
223			NS					NS	102 x 203	4					9,3	10,8	17,4	20,5		
224			NS					NS	102 x 203	4					7,8	11,3	16,3	18,8		
225			NS					NS	102 x 203	4					11,9	13,6	21,2	27,2		
226			NS					NS	102 x 203	4					9,3	12,8	19,0	23,2		
227			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3							10,8			
228			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3							16,1			
229			NS			1,00	3,00	2,00	152 x 305	3							18,2			
230			NS			1,00	3,00	2,00	152 x 305	3							7,7			
231			NS			1,00	1,50	3,00	152 x 305	3							26,7			
232			NS			1,00	2,50	3,00	152 x 305	3							15,2			
233			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3							13,8			
234			NS			1,00	3,00	3,00	152 x 305	3							6,6			
235			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3							15,7			
236			NS			1,00	2,00	2,00	152 x 305	3							10,0			
237			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3							10,5			
238			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3							12,5			
239			NS			1,00	3,00	4,00	152 x 305	3							8,5			
240			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3							20,8			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C	Teórico (diseño) (kg/cm <sup>3</sup> )	Práctico (diseño)	Teórico (diseño)	Práctico	Revenimiento (cm)	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso estándar)	Aditivo
241	16	1996	Concreto en obra / batidora	0	53	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	7.0	NS	No usado	No usado
242	16	1996	Concreto en obra / batidora	52	54	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	15.0	NS	No usado	No usado
243	16	1996	Concreto en obra / batidora	53	55	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	16.0	NS	No usado	No usado
244	16	1998	Concreto en obra / batidora	54	56	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	22.5	NS	No usado	No usado
245	16	1996	Concreto en obra / batidora	55	57	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	19.0	NS	No usado	No usado
246	16	1996	Concreto en obra / manual	56	58	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	20.0	NS	No usado	No usado
247	16	1998	Concreto en obra / manual	57	59	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	5.5	NS	No usado	No usado
248	16	1996	Concreto en obra / batidora	58	60	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	20.0	NS	No usado	No usado
249	16	1998	Concreto en obra / batidora	59	61	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	15.0	NS	No usado	No usado
250	16	1996	Concreto en obra / manual	60	62	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	12.5	NS	No usado	No usado
251	16	1996	Concreto en obra / manual	61	63	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	18.0	NS	No usado	No usado
252	16	1998	Concreto en obra / manual	62	64	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	18.0	NS	No usado	No usado
253	16	1996	Concreto en obra / batidora	63	65	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	18.0	NS	No usado	No usado
254	16	1998	Concreto en obra / batidora	64	66	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	18.0	NS	No usado	No usado
255	16	1996	Concreto en obra / manual	65	67	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	18.0	NS	No usado	No usado
256	16	1998	Concreto en obra / manual	66	68	24	210	NS	NS	NS	NS	NS	8.0	NS	No usado	No usado
257	17	1996	Ninguna	67	70	25	250	0.52	0.65	0.65	0.65	10	11.5	No usado	No usado	
258	17	1996	Ninguna	67	71	25	250	0.52	0.62	0.62	0.62	10	11.5	No usado	No usado	
259	17	1996	Ninguna	67	72	25	250	0.52	0.62	0.62	0.62	10	10.0	No usado	No usado	
260	17	1996	Ninguna	67	70	26	250	0.52	0.67	0.67	0.67	10	11.0	No usado	No usado	
261	17	1996	Ninguna	67	71	26	250	0.52	0.67	0.67	0.67	10	11.5	No usado	No usado	
262	17	1996	Ninguna	67	72	26	250	0.52	0.62	0.62	0.62	10	10.5	No usado	No usado	
263	17	1996	Ninguna	67	70	25	280	0.52	0.55	0.55	0.55	10	11.5	No usado	No usado	
264	17	1996	Ninguna	67	71	25	280	0.52	0.55	0.55	0.55	10	11.0	No usado	No usado	
265	17	1996	Ninguna	67	72	25	280	0.52	0.55	0.55	0.55	10	11.0	No usado	No usado	
266	17	1996	Ninguna	67	70	26	280	0.52	0.59	0.59	0.59	10	11.5	No usado	No usado	
267	17	1996	Ninguna	67	71	26	280	0.52	0.52	0.52	0.52	10	10.0	No usado	No usado	
268	17	1996	Ninguna	67	72	26	280	0.52	0.52	0.52	0.52	10	10.0	No usado	No usado	
269	17	1996	Ninguna	67	70	28	320	0.41	0.417	0.41	0.417	5.0	No usado	No usado		
270	18	1990	Ninguna	70	76	28	418	0.31	0.32	0.31	0.32	3.3	No usado	No usado		
271	18	1990	Ninguna	70	76	28	418	0.31	0.48	0.48	0.494	10.0	No usado	No usado		
272	18	1990	Ninguna	71	75	27	347	0.48	0.43	0.43	0.43	1.5	No usado	No usado		
273	18	1990	Ninguna	71	75	28	418	0.41	0.4	0.4	0.4	0.0	No usado	No usado		
274	18	1990	Ninguna	71	75	28	469	0.31	0.302	0.31	0.302	0.0	No usado	No usado		
275	18	1990	Ninguna	69	79	27	347	0.48	0.461	0.46	0.461	6.0	No usado	No usado		
276	18	1990	Ninguna	69	79	28	418	0.41	0.388	0.41	0.388	5.0	No usado	No usado		
277	18	1990	Ninguna	69	79	28	469	0.31	0.303	0.31	0.303	1.5	No usado	No usado		
278	18	1990	Ninguna	68	80	27	347	0.48	0.439	0.48	0.439	5.5	No usado	No usado		
279	18	1990	Ninguna	68	80	28	418	0.41	0.405	0.41	0.405	6.0	No usado	No usado		
280	18	1990	Ninguna	68	80	28	469	0.31	0.291	0.31	0.291	2.0	No usado	No usado		

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volumenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			18 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
241			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3										
242			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3									24,7	
243			NS			1,00	3,00	3,00	152 x 305	3									26,0	
244			NS			1,00	4,00	3,00	152 x 305	3									10,4	
245			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3									9,4	
246			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3									17,5	
248			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3									16,8	
249			NS			1,00	3,00	3,00	152 x 305	3									13,5	
249			NS			1,00	3,00	3,00	152 x 305	3									8,4	
249			NS			1,00	2,00	3,50	152 x 305	3									21,3	
250			NS			1,00	2,50	2,50	152 x 305	3									13,8	
251			NS			1,00	2,00	2,00	152 x 305	3									8,4	
252			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3									15,8	
253			NS			1,00	2,00	2,00	152 x 305	3									10,9	
254			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3									11,5	
255			NS			1,00	2,00	4,00	152 x 305	3									11,9	
256			NS			1,00	2,00	3,00	152 x 305	3									15,0	
257	1,00	1,77	0,00	3,16	0,00		NS		152 x 305	24				17,6		25,2	29,4		29,9	
258	1,00	1,66	0,00	3,24	0,00		NS		152 x 305	24				17,9		25,1	28,0		30,3	
259	1,00	1,50	0,00	3,39	0,00		NS		152 x 305	24				16,2		23,7	27,3		31,8	
260	1,00	1,70	0,00	3,16	0,00		NS		152 x 305	24				10,9		21,1	23,3		24,8	
261	1,00	1,59	0,00	3,24	0,00		NS		152 x 305	24				10,9		20,2	22,7		2,6	
262	1,00	1,44	0,00	3,39	0,00		NS		152 x 305	24				10,8		18,7	21,2		26,1	
263	1,00	1,39	0,00	2,66	0,00		NS		152 x 305	24				21,0		31,5	34,1		34,3	
264	1,00	1,30	0,00	2,73	0,00		NS		152 x 305	24				21,2		29,6	30,9		33,4	
265	1,00	1,17	0,00	2,85	0,00		NS		152 x 305	24				21,0		27,9	29,6		33,6	
269	1,00	1,32	0,00	2,66	0,00		NS		152 x 305	24				14,8		24,3	27,4		28,0	
267	1,00	1,23	0,00	2,73	0,00		NS		152 x 305	24				14,6		23,3	26,9		29,4	
268	1,00	1,10	0,00	2,85	0,00		NS		152 x 305	24				14,2		21,8	26,4		30,0	
268	1,00	1,88	0,00	1,83	0,00		NS		102 x 203	12				12,9	22,1	24,1	33,7			
270	1,00	1,50	0,00	1,61	0,00		NS		102 x 203	12				17,8	27,4	37,4	41,4			
271	1,00	0,96	0,00	1,74	0,00		NS		102 x 203	12				32,4	38,8	41,0	44,5			
272	1,00	1,93	0,00	1,82	0,00		NS		102 x 203	12				10,6	15,4	17,0	22,9			
273	1,00	1,56	0,00	1,57	0,00		NS		102 x 203	12				14,4	17,0	18,5	25,3			
274	1,00	0,98	0,00	1,73	0,00		NS		102 x 203	12				22,1	25,6	29,5	33,6			
275	1,00	2,26	0,00	1,77	0,00		NS		102 x 203	12				13,9	22,3	30,9	36,8			
276	1,00	1,82	0,00	1,52	0,00		NS		102 x 203	12				21,3	28,2	34,2	41,4			
277	1,00	1,06	0,00	1,81	0,00		NS		102 x 203	12				26,6	34,7	40,9	47,7			
278	1,00	2,18	0,00	1,90	0,00		NS		102 x 203	12				14,4	22,5	26,7	35,4			
279	1,00	1,75	0,00	1,63	0,00		NS		102 x 203	12				20,8	29,0	36,9	40,9			
280	1,00	1,10	0,00	1,81	0,00		NS		102 x 203	12				31,2	37,7	43,7	49,7			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	(%)
281	18	1990	Ninguna	73	78	27	NS	347	0,48	0,513	NS	16,0		No usó	
282	18	1990	Ninguna	73	78	28	NS	418	0,41	0,44	NS	2,0		No usó	
283	18	1990	Ninguna	73	78	28	NS	489	0,31	0,337	NS	0,0		No usó	
284	18	1990	Ninguna	68	73	27	NS	347	0,48	0,493	NS	23,0		No usó	
285	18	1990	Ninguna	68	73	28	NS	418	0,41	0,354	NS	11,5		No usó	
286	18	1990	Ninguna	68	73	28	NS	489	0,31	0,266	NS	4,6		No usó	
287	18	1990	Ninguna	71	74	27	NS	347	0,48	0,422	NS	5,0		No usó	
288	18	1990	Ninguna	71	74	28	NS	418	0,41	0,364	NS	4,0		No usó	
289	18	1990	Ninguna	71	74	28	NS	489	0,31	0,273	NS	0,0		No usó	
290	18	1990	Ninguna	71	77	27	NS	347	0,48	0,405	NS	6,5		No usó	
291	18	1990	Ninguna	71	77	28	NS	418	0,41	0,333	NS	0,0		No usó	
292	18	1990	Ninguna	71	77	28	NS	489	0,31	0,227	NS	0,0		No usó	
293	18	1990	Ninguna	72	75	27	NS	347	0,48	0,513	NS	5,0		No usó	
294	18	1990	Ninguna	72	75	28	NS	418	0,41	0,439	NS	3,0		No usó	
295	18	1990	Ninguna	72	75	28	NS	489	0,31	0,328	NS	1,8		No usó	
296	18	1990	Ninguna	72	74	27	NS	347	0,48	0,529	NS	16,0		No usó	
297	18	1990	Ninguna	72	74	28	NS	418	0,41	0,513	NS	4,0		No usó	
298	18	1990	Ninguna	72	74	28	NS	489	0,31	0,321	NS	2,5		No usó	
299	18	1990	Ninguna	70	76	28	NS	489	0,31	0,339	NS	4,0	Pozzolith 322-N	3 cc/kg cemento	
300	18	1990	Ninguna	71	75	28	NS	347	0,48	0,436	NS	8,0		No usó	
301	18	1990	Ninguna	71	75	28	NS	347	0,48	0,502	NS	2,0	Pozzolith 322-N	4 cc/kg cemento	
302	18	1990	Ninguna	71	75	28	NS	489	0,31	0,29	NS	2,0		No usó	
303	18	1990	Ninguna	71	75	28	NS	489	0,31	0,371	NS	2,7		No usó	
304	18	1990	Ninguna	69	79	28	NS	489	0,31	0,31	NS	0,0	Pozzolith 322-N	3 cc/kg cemento	
305	18	1990	Ninguna	68	80	28	NS	489	0,31	0,34	NS	2,8	Pozzolith 322-N	3 cc/kg cemento	
306	18	1990	Ninguna	71	74	28	NS	489	0,31	0,355	NS	2,7	Pozzolith 322-N	4 cc/kg cemento	
307	18	1990	Ninguna	72	80	28	NS	418	0,41	0,343	NS	5,0	Pozzolith 322-N	NS	
308	18	1990	Ninguna	72	74	28	NS	347	0,48	0,518	NS	5,0	Pozzolith 322-N	NS	
309	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
310	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
311	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
312	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
313	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
314	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
315	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
316	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
317	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
318	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5		No usó	
319	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó	
320	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
281	1,00	2,48	0,00	1,81	0,00	NS			102 x 203	12				17,0	23,0	29,3	34,4			
282	1,00	2,01	0,00	1,38	0,00	NS			102 x 203	12				32,9	38,5	41,6	51,5			
283	1,00	0,96	0,00	1,97	0,00	NS			102 x 203	12				41,5	47,1	51,7	64,1			
284	1,00	1,39	0,00	2,48	0,00	NS			102 x 203	12				6,0	10,9	13,7	18,1			
285	1,00	1,09	0,00	2,13	0,00	NS			102 x 203	12				16,6	22,1	27,0	31,1			
288	1,00	0,86	0,00	1,91	0,00	NS			102 x 203	12				25,8	30,4	32,6	38,8			
287	1,00	1,87	0,00	1,88	0,00	NS			102 x 203	12				17,0	25,7	30,5	36,3			
288	1,00	1,50	0,00	1,82	0,00	NS			102 x 203	12				21,8	28,4	33,0	39,8			
289	1,00	0,98	0,00	1,73	0,00	NS			102 x 203	12				28,6	35,8	37,6	44,9			
290	1,00	1,44	0,00	2,03	0,00	NS			102 x 203	12				10,7	17,6	20,5	26,4			
291	1,00	1,15	0,00	1,74	0,00	NS			102 x 203	12				19,9	30,9	33,6	37,6			
292	1,00	0,81	0,00	1,73	0,00	NS			102 x 203	12				24,3	30,8	34,5	40,2			
293	1,00	2,02	0,00	2,63	0,00	NS			102 x 203	12				8,4	13,1	16,5	19,6			
294	1,00	1,63	0,00	2,26	0,00	NS			102 x 203	12				15,8	20,2	25,2	28,5			
295	1,00	0,82	0,00	2,17	0,00	NS			102 x 203	12				24,5	29,5	37,5	40,0			
296	1,00	1,87	0,00	2,77	0,00	NS			102 x 203	12				10,2	16,5	18,5	21,3			
297	1,00	1,52	0,00	2,36	0,00	NS			102 x 203	12				19,0	27,3	31,2	35,0			
298	1,00	0,81	0,00	2,17	0,00	NS			102 x 203	12				43,2	48,1	57,1	66,1			
299	1,00	0,96	0,00	1,74	0,00	NS			152 x 305	4							49,6			
300	1,00	2,14	0,00	1,72	0,00	NS			152 x 305	4							28,2			
301	1,00	1,93	0,00	1,82	0,00	NS			152 x 305	4							22,1			
302	1,00	0,98	0,00	1,73	0,00	NS			152 x 305	4							36,7			
303	1,00	0,98	0,00	1,73	0,00	NS			152 x 305	4							33,5			
304	1,00	1,06	0,00	1,81	0,00	NS			152 x 305	4							48,4			
305	1,00	1,10	0,00	1,81	0,00	NS			152 x 305	4							47,6			
306	1,00	0,98	0,00	1,73	0,00	NS			152 x 305	4							42,2			
307	1,00	1,63	0,00	2,26	0,00	NS			152 x 305	4							34,7			
308	1,00	1,87	0,00	2,77	0,00	NS			152 x 305	4							32,9			
309	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					33,0		36,8			
310	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					23,7		37,8			
311	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					40,1		43,5			
312	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					35,1		39,0			
313	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					38,6		41,5			
314	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			152 x 305	3					36,5		42,9			
315	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			102 x 203	3					32,0		40,0			
316	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			102 x 203	3					40,3		42,0			
317	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			102 x 203	3					33,8		40,0			
318	1	1,22	0,00	1,78	0,00	NS			102 x 203	3					42,7		45,3			
319	1	2,50	0,00	3,00	0,00	NS			152 x 305	3					19,6		26,0			
320	1	2,50	0,00	3,00	0,00	NS			152 x 305	3					21,3		29,3			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (relativo al peso cemento)
321	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
322	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
323	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
324	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
325	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
326	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
327	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
328	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
329	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
330	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
331	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
332	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
333	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
334	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
335	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
336	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
337	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
338	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0		No usó
339	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
340	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
341	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
342	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
343	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
344	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
345	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
346	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
347	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
348	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
349	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
350	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
351	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
352	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
353	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
354	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
355	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
356	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
357	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
358	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
359	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
360	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó

Lisens de mecia y resistencias a compresion de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseno No.	Proporcion por peso			Proporcion volumetrica (volúmenes mastros)				Número de especimenes	Resistencia a compresion (MPa) por edad (dias)
	Cemento	Arrens	Piedra	Cemento	Arrens	Piedra	cilindro (mm)		
321	1	2.50	3.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	20.9
322	1	2.50	3.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	26.7
323	1	2.50	3.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	31.5
324	1	2.50	3.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	23.9
325	1	2.50	3.00	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	27.4
326	1	2.50	3.00	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	24.7
327	1	2.50	3.00	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	31.0
328	1	2.50	3.00	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	30.5
329	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	34.0
330	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	48.8
331	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	38.2
332	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	43.4
333	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	50.1
334	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	44.7
335	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	47.5
336	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	49.2
337	1	0.83	1.60	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	43.8
338	1	0.83	1.60	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	37.6
339	1	0.83	1.60	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	49.2
340	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	27.5
341	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	31.3
342	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	25.5
343	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	35.6
344	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	28.9
345	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	35.3
346	1	1.90	2.70	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	36.9
347	1	1.90	2.70	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	24.4
348	1	1.90	2.70	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	25.3
349	1	1.90	2.70	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	36.4
350	1	1.90	2.70	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	37.9
351	1	1.90	2.70	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	28.8
352	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	37.5
353	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	44.5
354	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	35.0
355	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	44.9
356	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	49.6
357	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	51.4
358	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	40.4
359	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	38.8
360	1	0.83	1.20	NS	102 x 203	3	102 x 203	3	41.7
361	1	0.83	1.20	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	49.4
362	1	1.90	2.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	25.8
363	1	1.90	2.00	NS	152 x 305	3	152 x 305	3	21.1

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	%
361	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
362	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
363	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
364	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
365	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
366	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
367	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
368	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
369	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
370	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
371	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
372	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
373	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
374	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
375	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
376	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
377	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
378	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	74	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,5			No usó
379	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
380	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
381	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
382	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
383	19	1989	Molde acero, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
384	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
385	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
386	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
387	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
388	19	1989	Molde acero, cabeceo azufra, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
389	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	74	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0			No usó
390	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
391	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
392	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
393	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
394	19	1989	Molde acero, cabeceo azufra, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
395	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
396	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
397	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
398	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	357	392	0,33	NS	NS	8,0			No usó
399	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5			No usó
400	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5			No usó

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso				Proporción volumétrica (volumenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena			Piedra	16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	90
		%w	%w	%w	%w			16 hrs.	18 hrs.		24 hrs.	3	7	14	28	56	90	100	
361	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						22,1		31,6		
362	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						21,3		29,9		
363	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						19,8		30,4		
364	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						24,0		34,5		
365	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,2		31,0		
366	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,6		33,6		
367	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,9		32,8		
368	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						23,1		34,9		
369	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						32,0		36,6		
370	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						36,7		38,0		
371	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						37,6		39,3		
372	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						35,9		38,1		
373	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						36,7		37,3		
374	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	152 x 305	3						38,4		40,2		
375	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	102 x 203	3						35,9		32,7		
376	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	102 x 203	3						40,5		36,9		
377	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	102 x 203	3						35,6		35,0		
378	1	1,22	0,00	1,78	0,00		NS	102 x 203	3						40,7		38,0		
379	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						20,6		21,9		
380	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						24,7		26,5		
381	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						23,0		27,8		
382	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						21,2		28,9		
383	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						23,9		29,8		
384	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	152 x 305	3						22,1		28,6		
385	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	102 x 203	3						21,5		26,4		
386	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	102 x 203	3						23,9		27,3		
387	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	102 x 203	3						23,1		25,8		
388	1	2,50	0,00	3,00	0,00		NS	102 x 203	3						24,9		29,6		
389	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						33,1		40,3		
390	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						38,3		35,2		
391	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						39,1		49,0		
392	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						33,9		41,8		
393	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						37,7		46,4		
394	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	152 x 305	3						39,6		49,3		
395	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	102 x 203	3						37,1		40,2		
396	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	102 x 203	3						36,2		46,2		
397	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	102 x 203	3						31,5		34,8		
398	1	0,83	0,00	1,60	0,00		NS	102 x 203	3						36,7		45,0		
399	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						25,9		30,1		
400	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						27,1		33,4		

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseño No	Fuente Bibliográfica No	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revanimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (% respecto de peso cemento)
401	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
402	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
403	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
404	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
405	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
406	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
407	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
408	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	75	81	29	214	235	0,55	NS	NS	9,5		No usó
409	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
410	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
411	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
412	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
413	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
414	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
415	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
416	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
417	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
418	19	1989	Molde acero, cabeceo azufra, curado ambiente	0	81	29	357	392	0,33	NS	NS	11,0		No usó
419	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
420	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufra, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
421	19	1989	Molde PVC, cabeceo neopreno, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
422	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
423	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
424	19	1989	Molde acero, cabeceo neopreno, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
425	19	1989	Molde PVC, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
426	19	1989	Molde PVC, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
427	19	1989	Molde acero, cabeceo yeso, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
428	19	1989	Molde acero, cabeceo azufre, curado ambiente	0	81	29	214	235	0,55	NS	NS	10,0		No usó
429	20	1987	Ninguna	77	82	30	NS	347	0,48	NS	NS	5,5		No usó
430	20	1987	Ninguna	77	82	31	NS	418	0,41	NS	NS	4,0		No usó
431	20	1987	Ninguna	77	82	31	NS	489	0,28	NS	NS	0,0		No usó
432	20	1987	Ninguna	77	83	30	NS	347	0,48	NS	NS	0,0		No usó
433	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	418	0,41	NS	NS	3,0		No usó
434	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	489	0,40	NS	NS	3,5		No usó
435	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	347	0,41	NS	NS	4,0		No usó
436	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	418	0,35	NS	NS	1,0		No usó
437	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	489	0,30	NS	NS	3,5	Melment L10	NS
438	20	1987	Ninguna	78	84	30	NS	347	0,48	NS	NS	5,5		No usó
439	20	1987	Ninguna	78	84	31	NS	418	0,40	NS	NS	2,0		No usó
440	20	1987	Ninguna	78	84	31	NS	489	0,41	NS	NS	1,0		No usó

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No	Proporción por peso				Proporción volumétrica (volumenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)										
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena			Piedra	18 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	66	96	100
		%w	%w	%w	%w															
401	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						23,7		34,3			
402	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						25,3		33,7			
403	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						27,0		37,5			
404	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	152 x 305	3						25,0		33,6			
405	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	102 x 203	3						25,0		36,2			
406	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	102 x 203	3						25,7		34,0			
407	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	102 x 203	3						30,9		32,9			
408	1	1,90	0,00	2,70	0,00		NS	102 x 203	3						29,7		37,5			
409	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						34,7		42,5			
410	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						37,5		43,9			
411	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						38,8		48,8			
412	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						38,0		44,2			
413	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						41,8		46,0			
414	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	152 x 305	3						40,5		48,7			
415	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	102 x 203	3						36,1		42,0			
416	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	102 x 203	3						39,7		48,4			
417	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	102 x 203	3						39,0		48,5			
418	1	0,83	0,00	1,20	0,00		NS	102 x 203	3						41,3		49,9			
419	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						20,6		26,0			
420	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						20,5		29,3			
421	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						22,1		30,0			
422	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						21,7		25,2			
423	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						23,1		29,9			
424	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	152 x 305	3						23,5		31,3			
425	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,0		25,8			
426	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,3		30,0			
427	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						22,0		29,5			
428	1	1,90	0,00	2,00	0,00		NS	102 x 203	3						24,0		30,6			
429	1,00	1,90	0,00	2,10	0,00		NS	102 x 203	12						18,7	22,8	26,2	29,8		
430	1,00	1,51	0,00	1,79	0,00		NS	102 x 203	12						28,4	35,8	39,2	44,2		
431	1,00	0,86	0,00	1,80	0,00		NS	102 x 203	12						26,4	35,8	39,2	44,2		
432	1,00	1,97	0,00	2,03	0,00		NS	102 x 203	12						20,5	24,5	28,9	27,3		
433	1,00	1,57	0,00	1,73	0,00		NS	102 x 203	12						23,5	29,6	31,7	36,0		
434	1,00	1,44	0,00	2,35	0,00		NS	102 x 203	12						19,2	22,5	28,2	33,2		
435	1,00	1,57	0,00	1,73	0,00		NS	152 x 305	6									37,4		
436	1,00	1,22	0,00	1,48	0,00		NS	152 x 305	6									42,2		
437	1,00	0,90	0,00	1,76	0,00		NS	152 x 305	6									48,5		
438	1,00	1,89	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	12						12,4	22,7	26,2	29,8		
439	1,00	1,88	0,00	1,35	0,00		NS	102 x 203	12						29,2	30,2	32,3	45,7		
440	1,00	1,43	0,00	2,34	0,00		NS	102 x 203	12						29,3	32,1	35,1	45,3		

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (relativo da peso cemento)
441	20	1987	Ninguna	79	85	30	NS	347	0,48	NS	NS	3,5		No usó
442	20	1987	Ninguna	79	85	31	NS	418	0,40	NS	NS	1,5		No usó
443	20	1987	Ninguna	79	85	31	NS	489	0,41	NS	NS	0,5		No usó
444	20	1987	Ninguna	79	82	31	NS	489	0,30	NS	NS	2,0	Melment L10	NS
445	20	1987	Ninguna	80	88	30	NS	347	0,48	NS	NS	1,5		No usó
446	20	1987	Ninguna	80	88	31	NS	418	0,41	NS	NS	1,5		No usó
447	20	1987	Ninguna	80	88	31	NS	489	0,30	NS	NS	1,5		No usó
448	20	1987	Ninguna	80	82	30	NS	347	0,48	NS	NS	7,0		No usó
449	20	1987	Ninguna	80	82	31	NS	418	0,35	NS	NS	4,5		No usó
450	20	1987	Ninguna	80	82	31	NS	489	0,30	NS	NS	0,0		No usó
451	20	1987	Ninguna	81	87	30	NS	347	0,48	NS	NS	0,5		No usó
452	20	1987	Ninguna	81	87	31	NS	418	0,41	NS	NS	0,5		No usó
453	20	1987	Ninguna	81	87	31	NS	489	0,40	NS	NS	0,0		No usó
454	20	1987	Ninguna	81	88	30	NS	347	0,48	NS	NS	6,0		No usó
455	20	1987	Ninguna	81	88	31	NS	418	0,41	NS	NS	2,0		No usó
456	20	1987	Ninguna	81	88	31	NS	489	0,40	NS	NS	0,0		No usó
457	20	1987	Ninguna	77	82	31	NS	418	0,41	NS	NS	2,0		No usó
458	20	1987	Ninguna	81	87	31	NS	489	0,30	NS	NS	0,0	Melment L10	NS
459	20	1987	Ninguna	80	88	31	NS	418	0,35	NS	NS	0,0		No usó
460	20	1987	Ninguna	77	82	30	NS	347	0,48	NS	NS	5,5		No usó
461	20	1987	Ninguna	77	82	31	NS	418	0,41	NS	NS	4,0		No usó
462	20	1987	Ninguna	77	82	31	NS	489	0,28	NS	NS	0,0		No usó
463	20	1987	Ninguna	77	83	30	NS	347	0,48	NS	NS	0,0		No usó
464	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	418	0,41	NS	NS	3,0		No usó
465	20	1987	Ninguna	77	83	31	NS	489	0,40	NS	NS	3,5		No usó
466	20	1987	Ninguna	78	84	30	NS	347	0,48	NS	NS	5,5		No usó
467	20	1987	Ninguna	78	84	31	NS	418	0,40	NS	NS	2,0		No usó
468	20	1987	Ninguna	78	84	31	NS	489	0,41	NS	NS	1,0		No usó
469	20	1987	Ninguna	79	85	30	NS	347	0,48	NS	NS	3,5		No usó
470	20	1987	Ninguna	79	85	31	NS	418	0,40	NS	NS	1,5		No usó
471	20	1987	Ninguna	79	85	31	NS	489	0,41	NS	NS	0,5		No usó
472	20	1987	Ninguna	80	88	30	NS	347	0,48	NS	NS	1,5		No usó
473	20	1987	Ninguna	80	88	31	NS	418	0,41	NS	NS	1,5		No usó
474	20	1987	Ninguna	80	88	31	NS	489	0,30	NS	NS	1,5		No usó
475	20	1987	Ninguna	80	82	30	NS	347	0,48	NS	NS	7,0		No usó
476	20	1987	Ninguna	80	82	31	NS	418	0,35	NS	NS	4,5		No usó
477	20	1987	Ninguna	80	82	31	NS	489	0,30	NS	NS	0,0		No usó
478	20	1987	Ninguna	81	87	30	NS	347	0,48	NS	NS	0,5		No usó
479	20	1987	Ninguna	81	87	31	NS	418	0,41	NS	NS	0,5		No usó
480	20	1987	Ninguna	81	87	31	NS	489	0,40	NS	NS	0,0		No usó

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (Volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
441	1,00	1,78	0,00	1,89	0,00		NS		102 x 203	12				16,7	22,5	27,0	31,7			
442	1,00	1,49	0,00	1,52	0,00		NS		102 x 203	12				27,1	30,3	31,0	42,1			
443	1,00	1,34	0,00	2,21	0,00		NS		102 x 203	12				24,3	30,8	34,2	41,8			
444	1,00	0,86	0,00	1,76	0,00		NS		152 x 305	6							47,4			
445	1,00	2,10	0,00	1,94	0,00		NS		102 x 203	12				21,3	26,2	30,7	34,0			
446	1,00	1,67	0,00	1,66	0,00		NS		102 x 203	12				26,0	31,9	35,4	37,1			
447	1,00	0,89	0,00	1,75	0,00		NS		102 x 203	12				27,8	36,0	39,4	48,7			
448	1,00	1,71	0,00	2,20	0,00		NS		102 x 203	12				21,3	27,5	28,1	36,7			
449	1,00	1,03	0,00	1,61	0,00		NS		102 x 203	12				28,7	36,7	43,5	46,1			
450	1,00	0,77	0,00	1,85	0,00		NS		102 x 203	12				30,0	38,4	44,7	51,0			
451	1,00	1,27	0,00	2,22	0,00		NS		102 x 203	12				21,2	24,3	31,2	35,1			
452	1,00	1,00	0,00	1,89	0,00		NS		102 x 203	12				29,7	35,4	35,3	48,8			
453	1,00	1,05	0,00	2,35	0,00		NS		102 x 203	12				23,2	32,4	34,9	37,9			
454	1,00	2,01	0,00	1,93	0,00		NS		102 x 203	12				21,0	24,9	26,9	32,8			
455	1,00	1,60	0,00	1,85	0,00		NS		102 x 203	12				27,2	33,1	36,7	40,2			
456	1,00	1,58	0,00	2,22	0,00		NS		102 x 203	12				25,8	32,0	34,0	46,3			
457	1,00	1,51	0,00	1,79	0,00		NS		152 x 305	6							37,9			
458	1,00	0,65	0,00	1,76	0,00		NS		152 x 305	6							49,9			
459	1,00	1,29	0,00	1,42	0,00		NS		152 X 305	6							44,2			
460	1,00	1,90	0,00	2,10	0,00		NS		152 x 305	6							27,7			
461	1,00	1,51	0,00	1,79	0,00		NS		152 x 305	6							39,9			
462	1,00	0,86	0,00	1,80	0,00		NS		152 x 305	6							43,8			
463	1,00	1,97	0,00	2,03	0,00		NS		152 x 305	6							27,4			
464	1,00	1,57	0,00	1,73	0,00		NS		152 x 305	6							34,2			
465	1,00	1,44	0,00	2,35	0,00		NS		152 x 305	6							30,6			
466	1,00	1,89	0,00	2,02	0,00		NS		152 x 305	6							34,0			
467	1,00	1,88	0,00	1,35	0,00		NS		152 x 305	6							39,3			
468	1,00	1,43	0,00	2,34	0,00		NS		152 X 305	6							40,4			
469	1,00	1,78	0,00	1,89	0,00		NS		152 x 305	6							31,8			
470	1,00	1,49	0,00	1,52	0,00		NS		152 x 305	6							38,0			
471	1,00	1,34	0,00	2,21	0,00		NS		152 x 305	6							41,8			
472	1,00	2,10	0,00	1,94	0,00		NS		152 x 305	6							32,5			
473	1,00	1,67	0,00	1,66	0,00		NS		152 x 305	6							34,7			
474	1,00	0,89	0,00	1,75	0,00		NS		152 x 305	6							41,3			
475	1,00	1,71	0,00	2,20	0,00		NS		152 x 305	6							33,2			
476	1,00	1,03	0,00	1,61	0,00		NS		152 x 305	6							41,2			
477	1,00	0,77	0,00	1,85	0,00		NS		152 x 305	6							48,2			
478	1,00	1,27	0,00	2,22	0,00		NS		152 x 305	6							34,1			
479	1,00	1,00	0,00	1,89	0,00		NS		152 x 305	6							39,8			
480	1,00	1,05	0,00	2,35	0,00		NS		152 x 305	6							38,3			

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (% respecto de peso cemento)
481	20	1987	Ninguna	81	88	30	NS	347	0,48	NS	NS	6,0		No usó
482	20	1987	Ninguna	81	88	31	NS	418	0,41	NS	NS	2,0		No usó
483	20	1987	Ninguna	81	88	31	NS	489	0,40	NS	NS	0,0		No usó
484	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,28
485	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,25
486	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,32
487	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	3
488	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	4
489	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	5
490	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,28
491	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,32
492	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,35
493	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	4
494	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	5
495	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	6
496	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	2
497	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	2,25
498	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	1,75
499	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	SIKAMENT	2
500	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	SIKAMENT	2,5
501	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Melment L10	8
502	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Melment L10	7
503	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	0,8
504	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	1
505	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,2
506	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,2
507	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,4
508	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,8
509	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Rheobuild 1000	2,2
510	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Rheobuild 1000	2,4
511	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Rheobuild 1000	2,8
512	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,28
513	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,25
514	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	WR-77	0,32
515	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	3
516	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	4
517	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Melment L10	5
518	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,28
519	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,32
520	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	WR-77	0,35



Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>L</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revestimiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	(%)
821	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	4	
822	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	5	
823	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Melment L10	6	
824	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	2	
825	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	2,25	
826	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	SIKAMENT	1,75	
827	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	SIKAMENT	2	
828	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	SIKAMENT	2,5	
829	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Melment L10	8	
830	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Melment L10	7	
831	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	0,8	
832	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	1	
833	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,29	0,29	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,2	
834	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,2	
835	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,4	
836	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,25	0,25	NS	0,0	Rheobuild 1000	1,6	
837	21	1987	Ninguna	82	91	32	NS	NS	0,21	0,21	NS	0,0	Rheobuild 1000	2,6	
838	22	1985	Ninguna	85	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	1,2	
839	22	1985	Ninguna	83	96	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
840	22	1985	Ninguna	83	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
841	22	1985	Ninguna	83	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
842	22	1985	Ninguna	83	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
843	22	1985	Ninguna	85	96	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
844	22	1985	Ninguna	85	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
845	22	1985	Ninguna	85	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
846	22	1985	Ninguna	85	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
847	22	1985	Ninguna	89	96	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
848	22	1985	Ninguna	89	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
849	22	1985	Ninguna	89	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
850	22	1985	Ninguna	89	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
851	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Mighty 150	1	
852	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8	
853	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
854	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Melment L10	3	
855	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Pozzolith 322-N	0,455	
856	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
857	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
858	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
859	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
860	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			18 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	98	100
		%w	%w	%w	%w															
621	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						45,7					
622	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						53,8					
623	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						46,3					
624	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						41,4					
625	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						49,4					
626	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						49,8					
627	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						41,0					
628	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						37,0					
629	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						57,6					
630	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						56,5					
631	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						49,2					
632	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						49,4					
633	1,00	1,45	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	NS						50,7					
634	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						50,5					
635	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						57,7					
636	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						58,6					
637	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	152 x 305	NS						66,8					
638	1,00	1,35	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	9			32,7	41,9		44,6					
639	1,00	1,51	0,00	2,04	0,00		NS	102 x 203	9			40,0	46,6		59,9					
640	1,00	1,35	0,00	2,04	0,00		NS	102 x 203	9			41,1	45,1		53,7					
641	1,00	1,46	0,00	2,04	0,00		NS	102 x 203	12			40,8	48,3		62,9		74,8			
642	1,00	1,44	0,00	2,04	0,00		NS	102 x 203	15			43,1	53,6		65,5	72,5	77,9			
643	1,00	1,51	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	9			35,7	46,3		50,5					
644	1,00	1,35	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	9			33,6	43,7		52,8					
645	1,00	1,46	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	9			41,8	49,9		59,7					
646	1,00	1,44	0,00	2,02	0,00		NS	102 x 203	9			41,5	50,5		62,1					
647	1,00	1,51	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			40,8	48,9		62,6					
648	1,00	1,35	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			36,3	42,0		51,0					
649	1,00	1,46	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			46,5	52,9		63,1					
650	1,00	1,44	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	15			36,8	48,4		52,6	60,4	62,6			
651	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	12			43,3	51,5		63,2	70,1				
652	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			44, #	54,0		65,3					
653	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			46, #	53,5		68,5					
654	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			42, #	48,0		61,2					
655	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			48,9	58,3		71,7					
656	1,00	1,31	0,00	2,33	0,00		NS	102 x 203	9			42,6	47,2		64,4					
657	1,00	1,80	0,00	1,81	0,00		NS	102 x 203	9			42,4	52,6		63,2					
658	1,00	2,04	0,00	1,55	0,00		NS	102 x 203	9			39,6	47,3		60,2					
659	1,00	1,06	0,00	1,74	0,00		NS	102 x 203	9			45,2	52,5		66,5					
660	1,00	1,28	0,00	1,89	0,00		NS	102 x 203	9			52,2	58,1		71,0					

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo	
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (% respecto al peso cemento)
561	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8
562	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
563	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	2,5
564	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	5
565	22	1985	Ninguna	87	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
566	22	1985	Ninguna	88	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
567	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
568	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
569	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
570	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
571	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
572	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
573	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
574	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,23	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
575	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
576	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,19	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
577	22	1985	Ninguna	90	99	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
578	22	1985	Ninguna	90	100	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
579	22	1985	Ninguna	86	98	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
580	22	1985	Ninguna	84	98	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
581	22	1985	Ninguna	90	98	33	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
582	22	1985	Ninguna	84	97	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
583	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2
584	22	1985	Ninguna	85	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	1,2
585	22	1985	Ninguna	83	96	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
586	22	1985	Ninguna	83	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
587	22	1985	Ninguna	83	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
588	22	1985	Ninguna	83	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
589	22	1985	Ninguna	85	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
590	22	1985	Ninguna	85	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
591	22	1985	Ninguna	85	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
592	22	1985	Ninguna	85	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
593	22	1985	Ninguna	89	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
594	22	1985	Ninguna	89	97	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
595	22	1985	Ninguna	89	98	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
596	22	1985	Ninguna	89	101	33	NS	NS	0,28	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
597	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Mighty 150	1
598	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 561	0,8
599	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8
600	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Mefment L10	3

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño Nº	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			18 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	90	100
		%w	%w	%w	%w															
561	1,00	1,87	0,00	2,31	0,00		NS	102 x 203	9			46,8	55,5		65,4					
562	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			53,0	62,6		72,8					
563	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			40,3	51,3		61,9					
564	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	102 x 203	9			10,1	38,6		48,7					
565	1,00	1,28	0,00	1,92	0,00		NS	102 x 203	15			55,3	68,1		71,5	78,4	85,1			
566	1,00	1,28	0,00	1,89	0,00		NS	102 x 203	12			53,1	62,5		69,7	69,8				
567	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	15			59,2	68,3		75,2	77,3	89,5			
568	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	15			56,0	64,5		73,0	74,9	86,5			
569	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	12			54,9	64,2		72,4	72,8				
570	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	15			58,5	68,3		76,7	77,0	91,0			
571	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			54,4	61,9		67,0					
572	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			54,5	62,8		65,9					
573	1,00	1,28	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			51,3	58,3		61,5					
574	1,00	1,32	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			65,5	80,5		88,8					
575	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			70,6	81,4		89,5					
576	1,00	1,42	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			67,4	75,7		86,4					
577	1,00	1,31	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			56,2	65,3		75,5					
578	1,00	1,30	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			55,3	65,4		75,3					
579	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			68,3	74,5		77,3					
580	1,00	1,37	0,00	1,88	0,00		NS	102 x 203	9			69,7	73,6		79,6					
581	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	9			57,1	69,7		80,5					
582	1,00	1,27	0,00	1,88	0,00		NS	102 x 203	3						76,1					
583	1,00	1,37	0,00	1,86	0,00		NS	102 x 203	3						69,5					
584	1,00	1,35	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	3						48,6					
585	1,00	1,51	0,00	2,04	0,00		NS	152 x 305	3						57,4					
586	1,00	1,35	0,00	2,04	0,00		NS	152 x 305	3						60,9					
587	1,00	1,46	0,00	2,04	0,00		NS	152 x 305	3						63,0					
588	1,00	1,44	0,00	2,04	0,00		NS	152 x 305	3						63,9					
589	1,00	1,51	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	3						54,4					
590	1,00	1,35	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	3						55,9					
591	1,00	1,46	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	3						61,0					
592	1,00	1,44	0,00	2,02	0,00		NS	152 x 305	3						65,1					
593	1,00	1,51	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						58,0					
594	1,00	1,35	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						53,0					
595	1,00	1,46	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						60,5					
596	1,00	1,44	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						55,0					
597	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						65,8					
598	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						67,3					
599	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						63,8					
600	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS	152 x 305	3						58,4					

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revoimiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	(%)
001	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Pozzolith 322-N	0,455	
002	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
003	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
004	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
005	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
006	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
007	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	0,8	
008	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
009	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	2,5	
010	22	1985	Ninguna	89	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	5	
011	22	1985	Ninguna	88	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
012	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
013	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
014	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,25	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
015	22	1985	Ninguna	84	97	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
016	22	1985	Ninguna	90	98	34	NS	NS	0,21	NS	NS	NS	Rheobuild 1000	1,2	
017	23	1984	Ninguna	91	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
018	23	1984	Ninguna	92	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
019	23	1984	Ninguna	95	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
020	23	1984	Ninguna	94	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
021	23	1984	Ninguna	93	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
022	23	1984	Ninguna	91	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
023	23	1984	Ninguna	92	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
024	23	1984	Ninguna	95	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
025	23	1984	Ninguna	94	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
026	23	1984	Ninguna	93	102	35	NS	NS	0,28	0,28	NS	NS	Melment L10	5	
027	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
028	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
029	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
030	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	11,5	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
031	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	13,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
032	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	19,0	Pozzolith 322-N	1,5 L/m <sup>3</sup> concreto	
033	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,5	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
034	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
035	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
036	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	11,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
037	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	11,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
038	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	10,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
039	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	11,5	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
040	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	13,0	Pozzolith 322-N	1,33 L/m <sup>3</sup> concreto	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos según fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso					Proporción volumétrica (volúmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)									
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena	Piedra			16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	95	100
		%w	%w	%w	%w															
001	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS		152 x 305	3									72,0	
002	1,00	1,31	0,00	2,33	0,00		NS		152 x 305	3									61,6	
003	1,00	1,80	0,00	1,81	0,00		NS		152 x 305	3									59,8	
004	1,00	2,04	0,00	1,55	0,00		NS		152 x 305	3									54,7	
005	1,00	1,06	0,00	1,74	0,00		NS		152 x 305	3									61,1	
006	1,00	1,28	0,00	1,89	0,00		NS		152 x 305	3									66,3	
007	1,00	1,87	0,00	2,31	0,00		NS		152 x 305	3									59,5	
008	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS		152 x 305	3									69,0	
009	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS		152 x 305	3									61,3	
010	1,00	1,56	0,00	2,07	0,00		NS		152 x 305	3									50,8	
011	1,00	1,28	0,00	1,89	0,00		NS		152 x 305	3									67,9	
012	1,00	1,28	0,00	1,88	0,00		NS		152 x 305	3									65,0	
013	1,00	1,28	0,00	1,88	0,00		NS		152 x 305	3									64,9	
014	1,00	1,28	0,00	1,88	0,00		NS		152 x 305	3									67,5	
016	1,00	1,27	0,00	1,88	0,00		NS		152 x 305	3									67,4	
015	1,00	1,37	0,00	1,88	0,00		NS		152 x 305	3									60,5	
017	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		75 x 150	9				35,4	39,8				37,1	
018	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		75 x 150	9				32,5	35,6				38,0	
019	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		75 x 150	9				21,1	27,9				29,8	
020	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		75 x 150	9				26,2	30,1				32,8	
021	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		75 x 150	9				25,7	26,1				29,1	
022	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		152 x 305	3									46,1	
023	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		152 x 305	3									44,4	
024	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		152 x 305	3									39,8	
025	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		152 x 305	3									41,0	
026	1,00	1,24	NS	2,05	NS		NS		152 x 305	3									36,9	
027			NS				NS		152 x 305	3				30,4	43,9				50,5	
028			NS				NS		152 x 305	3				31,4	45,6				53,0	
029			NS				NS		152 x 305	3				28,5	41,0				54,4	
030			NS				NS		152 x 305	3				22,8	35,6				47,6	
031			NS				NS		152 x 305	3				28,9	35,6				47,4	
032			NS				NS		152 x 305	3				27,5	37,3				49,5	
035			NS				NS		152 x 305	3				23,1	33,4				46,1	
034			NS				NS		152 x 305	3				39,2	43,5				54,2	
035			NS				NS		152 x 305	3				27,5	36,3				46,6	
036			NS				NS		152 x 305	3				28,4	44,4				51,3	
037			NS				NS		152 x 305	3				46,9	48,6				57,9	
038			NS				NS		152 x 305	3				23,5	40,5				57,4	
039			NS				NS		152 x 305	3				31,9	45,6				48,1	
040			NS				NS		152 x 305	3				24,5	56,9				64,7	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Fuente Bibliográfica No.	Año	Condición	Piedra No.	Arena No.	Cemento No.	L (kg/cm <sup>3</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	A/C		Revenimiento (cm)		Aditivo		
									Teórico (diseño)	Práctico	Teórico (diseño)	Práctico	Tipo (marca)	Cantidad (respecto de peso cemento)	(%)
641	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	14,0	Pozzolith 322-N	1,33 L/m <sup>3</sup> concreto	
642	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	16,0	Pozzolith 322-N	1,5 L/m <sup>3</sup> concreto	
643	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	13,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
644	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	11,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
645	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
646	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	17,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
647	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
648	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
649	24	1983	Ninguna	NS	NS	36	350	400	0,43	NS	3 a 5	12,0	Pozzolith 322-N	1 L/m <sup>3</sup> concreto	
650	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
651	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
652	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
653	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
654	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
655	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
656	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
657	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
658	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
659	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
660	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
661	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
662	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
663	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
664	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
665	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
666	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
667	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
668	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
669	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
670	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
671	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
672	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
673	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
674	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	
675	24	1983	Concreto celular	No usó	103	37	NS	NS	0,50	NS	NS	NS	LIEVOCEM Pozzolith	NS	

Diseños de mezcla y resistencias a compresión de concretos segun fuente indicada (cont.)

Diseño No.	Proporción por peso				Proporción volumétrica (voidmenes masivos)			Tamaño del cilindro (mm)	Número de especímenes ensayados	Resistencia a compresión (MPa) por edad (días)										
	Cemento	Arena		Piedra		Cemento	Arena			Piedra	16 hrs.	18 hrs.	24 hrs.	3	7	14	28	56	96	100
		%w	%w	%w	%w															
641		NS					NS	152 x 305	3				31,4	47,1		61,3				
642		NS					NS	152 x 305	3				32,4	44,1		50,5				
643		NS					NS	152 x 305	3				21,1	42,7		52,8				
644		NS					NS	152 x 305	3				19,1	38,7		48,6				
645		NS					NS	152 x 305	3				19,1	41,7		52,0				
646		NS					NS	152 x 305	3				31,9	44,6		47,6				
647		NS					NS	152 x 305	3				28,4	40,2		52,3				
648		NS					NS	152 x 305	3				34,3	48,6		51,0				
649		NS					NS	152 x 305	3				43,0	44,1		48,6				
650		NS		No usó			NS	75 x 150	9				0,2	0,6		1,0				
651		NS		No usó			NS	75 x 150	9				0,3	0,4		0,8				
652		NS		No usó			NS	75 x 150	9				0,2	0,5		0,7				
653		NS		No usó			NS	75 x 150	9				1,1	1,7		2,9				
654		NS		No usó			NS	75 x 150	9				2,8	4,9		6,4				
655		NS		No usó			NS	75 x 150	9				2,9	5,8		9,6				
656		NS		No usó			NS	75 x 150	9				1,3	1,8		3,4				
657		NS		No usó			NS	75 x 150	9				3,3	6,3		11,9				
658		NS		No usó			NS	75 x 150	9				6,9	10,4		14,5				
659		NS		No usó			NS	75 x 150	9				1,6	3,1		4,6				
660		NS		No usó			NS	75 x 150	9				3,4	6,5		8,1				
661		NS		No usó			NS	75 x 150	9				2,6	3,3		8,1				
662		NS		No usó			NS	75 x 150	9				4,5	7,3		13,1				
663		NS		No usó			NS	152 x 305	3							0,8				
664		NS		No usó			NS	152 x 305	3							0,5				
665		NS		No usó			NS	152 x 305	3							0,5				
666		NS		No usó			NS	152 x 305	3							2,5				
667		NS		No usó			NS	152 x 305	3							7,2				
668		NS		No usó			NS	152 x 305	6					5,3		8,9				
669		NS		No usó			NS	152 x 305	6					1,9		2,7				
670		NS		No usó			NS	152 x 305	6					5,8		9,7				
671		NS		No usó			NS	152 x 305	6					10,9		17,8				
672		NS		No usó			NS	152 x 305	6					2,5		4,0				
673		NS		No usó			NS	152 x 305	6					6,5		9,6				
674		NS		No usó			NS	152 x 305	6					4,8		8,4				
675		NS		No usó			NS	152 x 305	6					6,8		11,8				

## Fe de erratas

En el Anexo No. 8, en la sección de "Características de agregados gruesos empleados en fabricación de concretos según fuente indicada", se omitieron las piedras No. 26, No. 51 y No. 76. Sus características son las siguientes:

	Piedra No. 26	Piedra No. 51	Piedra No. 76
Fuente bibliográfica No.	10	16	19
Año	2001	1998	1989
Procedencia	Río Barranca, Puntarenas	Electriona	Quebrador Ochomogo (piedra quinta)
Tipo de material	Río	Tajo	Tajo
$G_s$	2,75	2,7	2,72
$G_{bs}$	2,60	2,4	2,55
$G_{bss}$	2,66	2,5	2,46
% Absorción	2	4	4,86
$\gamma_T$ envarillado ( $kg/m^3$ )	1501	1416	1526
$\gamma_T$ suelto ( $kg/m^3$ )	1399	1315	1366
% Tenacidad	NS	7	NS
% Abrasión	15	18	30,5
Tamaño máximo efectivo (mm)	25,4	NS	NS
Tamaño máximo nominal (mm)	19,1	NS	NS
Índice de partículas laminadas	NS	NS	NS
Índice de partículas elongadas	>15%	NS	NS
Sanidad	2,73	NS	NS