



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

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS  
MÉTODOS DE DISEÑO  
“VITERVO O’REILLY Y PRÁCTICA ESTÁNDAR DE SELECCIÓN DE  
PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA  
(ACI 211.1)”**

**Elmer Thomas Yoc Juárez**

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, noviembre de 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS  
MÉTODOS DE DISEÑO  
“VITERVO O’REILLY Y PRÁCTICA ESTÁNDAR DE SELECCIÓN DE  
PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA  
(ACI 211.1)”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**ELMER THOMAS YOC JUAREZ**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Inga. Dilma Mejicanos Jol
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Alejandro Castañon López
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS  
MÉTODOS DE DISEÑO  
“VITERVO O’REILLY Y PRÁCTICA ESTÁNDAR DE SELECCIÓN DE  
PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA  
(ACI 211.1)”**,

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

Elmer Thomas Yoc Juárez





## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **MI ASESOR:**

Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus, por su apoyo en la realización de este trabajo.

### **CEMENTOS PROGRESO:**

Por darme la oportunidad de realizar la parte investigativa en sus instalaciones y brindarme todo lo necesario para lograrlo.

### **MIS AMIGOS:**

Josué Coronado y Noé Alfonso Rosales, por brindarme su apoyo en la realización de la parte investigativa del presente trabajo.

### **MIS COMPAÑEROS DE CETEC, CEMENTOS PROGRESO:**

Por su valioso apoyo en el desarrollo de este trabajo de graduación.

### **MIS COMPAÑEROS DE LA EMPRESA HSE:**

Por el valioso apoyo y ayuda brindada.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS, NUESTRO CREADOR:**

Por guiarme en toda mi carrera y en mi vida, por estar en esos momentos en los que un amigo no fue suficiente y por permitirme alcanzar este triunfo. ¡Sin ti mi vida no tendría sentido!

### **MIS PADRES:**

Tomás Yoc y Blanca Elizabeth Juárez Gonzáles, por brindarme todo su apoyo y estar conmigo en los momentos más difíciles de la vida, orientarme en el buen camino, por ser un ejemplo a seguir; de esfuerzo, perseverancia y humildad. ¡Que Dios les bendiga!

### **MIS AMIGOS:**

Por demostrarme su apoyo, lealtad, afecto y sinceridad desinteresadamente. En especial a Laura Ramírez, Rosa de Matta, Juan Francisco Felipe y José Carlos López. ¡Gracias amigos!

### **MIS CATEDRÁTICOS:**

Por transmitir sus valiosos conocimientos y formar a los futuros ingenieros de nuestro querido país.

**LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA:**

Por ser la casa de estudios donde se forman los mejores profesionales de Guatemala.

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA:**

En especial a la Escuela de Ingeniería Civil, por permitir su formación en sus ilustres aulas.

**MI PAÍS:**

Guatemala, tierra de árboles, país de la eterna primavera, el país mas bello del mundo.

Ingeniero Sergio V. Castañeda L.  
Colegiado 5319

Guatemala 19 de septiembre de 2007


Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Quiñónez de la Cruz

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de Graduación titulado "Evaluación de concretos elaborados de acuerdo a los métodos de diseño "Vitervo O'Reilly y Práctica estándar de selección de proporciones de concretos de masa normal y pesada (ACI 211.1)", desarrollado por el estudiante universitario Elmer Thomas Yoc Juárez quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo elaborado por el estudiante Yoc Juárez, satisface los requisitos exigidos en la Facultad de Ingeniería, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente

  
Ing. Sergio V. Castañeda Lemus  
Sergio V. Castañeda Lemus  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 5319

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 26 de octubre de 2,007

Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Boiton Velásquez:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS MÉTODOS DE DISEÑO “VITERVO O’REILLY Y PRÁCTICA ESTANDAR DE SELECCIÓN DE PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA (ACI 211.1)”**, elaborado por el estudiante universitario **Elmer Thomas Yoc Juárez**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

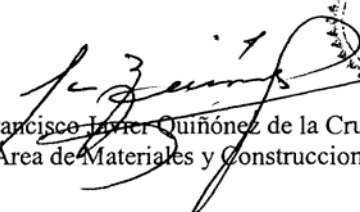
Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Yoc Juárez**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



  
Ing. Francisco Javier Quinónez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Elmer Thomas Yoc Juárez, titulado EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS MÉTODOS DE DISEÑO "VITERVO O'REILLY Y PRÁCTICA ESTANDAR DE SELECCIÓN DE PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA (ACI 211.1)", da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez



Guatemala, noviembre 2007.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.462.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS DE ACUERDO A LOS MÉTODOS DE DISEÑO "VITERVO O'REILLY Y PRÁCTICA ESTÁNDAR DE SELECCIÓN DE PROPORCIONES DE CONCRETO DE MASA NORMAL Y PESADA (ACI 211.1)"**, presentado por el estudiante universitario **Elmer Thomas Yoc Juárez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy ~~Olympo~~ Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2007

/cc





# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>
<b>1. CONCRETO</b>	<b>1</b>
1.1. Definición	1
1.2. Tipos	1
1.2.1. Tamaño máximo de agregado	1
1.2.2. Consistencia	1
1.2.3. Tiempos de fraguado	2
1.2.4. Resistencia a compresión	2
1.2.5. Durabilidad	2
1.2.6. Peso unitario	2
1.2.7. Apariencia	2
1.2.8. Especialidad	3
1.3. Usos	3
1.4. Componentes	4
1.4.1. Cemento	4
1.4.1.1. Tipos de cementos hidráulicos	4
1.4.2. Agregados	5
1.4.2.1. Clasificación	6
1.4.2.1.1. Origen	7
1.4.2.1.2. Tamaño	7

1.4.2.1.3.	Densidad	7
1.4.2.1.4.	Forma	8
1.4.3.	Agua	9
1.4.4.	Aditivos	10
1.4.4.1.	Tipos de aditivos	11
1.4.5.	Aire	12
1.5.	Control de calidad	12
1.6.	Control en obra	13
<b>2.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO</b>	<b>17</b>
2.1.	Antecedentes	17
2.1.1.	Dosificación	17
2.1.1.1.	Control manejo y almacenamiento de materiales	17
2.1.1.2.	Medición y pesaje	17
2.1.1.3.	Carga de materiales	18
2.1.2.	Mezclado	18
2.1.3.	Transporte	18
2.1.3.1.	Camiones mezcladores	18
2.1.3.2.	Bombeo	18
2.1.3.3.	Cintas transportadoras	19
2.1.4.	Colocación	19
2.1.5.	Consolidación	19
2.2.	Métodos de diseño	19
2.2.1.	Método ACI 211	20
2.2.2.	Método Dr. Vitervo O'Reilly	20
2.2.3.	Método LCPC-modificado (Larrard)	20
2.2.4.	Método Mironof	21
2.2.5.	Método de peso volumétrico máximo de grava y arena	21
2.2.6.	Método británico	22

2.2.7.	Método de diseño concreto auto compactante	22
2.2.8.	Método de diseño por durabilidad del concreto	22
2.2.9.	Método basado en la teoría del exceso de pasta	23
2.2.10.	Método basado en la teoría del diámetro promedio y espacio entre agregados	24
2.2.11.	Método basado en la teoría de la capa adherida	24
2.2.12.	Diseño de mezclas de concreto estructural. Norma	
2.2.13.	COVENIN 1753:2005 (R) Proyecto y construcción de obras en concreto estructural	25
2.2.14.	Método concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos	25
2.2.15.	Método de la Universidad Politécnica de Valencia	25
2.2.16.	Método de la Asociación del Cemento Portland.	26
2.3.	Características	26
2.4.	Normativa aplicable	28
2.4.1.	Europa	28
2.4.2.	ASTM	29
2.4.3.	COGUANOR	30
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS A EVALUAR</b>	<b>31</b>
3.1.	Método del Dr. Vitervo O'Reilly (MVO)	31
3.1.1.	Descripción	31
3.1.2.	Metodología de diseño	33
3.1.3.	Normativa aplicable	36
3.1.4.	Ventajas y desventajas	37
3.2.	Método Práctica de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1) (MACI)	40
3.2.1.	Descripción	40

3.2.2.	Metodología de diseño	40
3.2.3.	Normativa aplicable	43
3.2.4.	Ventajas y desventajas	43
<b>4.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>45</b>
4.1.	Resultados	45
4.1.1.	Caracterización de materiales	45
4.1.1.1.	Cemento Portland tipo I	45
4.1.1.2.	Agregado grueso	45
4.1.1.3.	Agregado fino	46
4.1.2.	Diseño de mezcla	47
4.1.2.1.	Justificación	47
4.1.2.2.	Proporciones en masa y volumen	48
4.1.3.	Elaboración y evaluación de concretos	48
4.1.3.1.	Dosificación	51
4.1.3.1.1.	Método Dr. Vitervo O'Reilly (MVO)	51
4.1.3.1.2.	Método Práctica de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1) (MACI)	59
4.1.3.2.	Estado Fresco	64
4.1.3.3.	Estado endurecido	65
4.1.3.3.1.	Resistencia a compresión	65
4.1.3.3.2.	Resistencia a flexión	66
4.2.	Integración de costos (1m <sup>3</sup> )	66
4.2.1.	Control de calidad de materiales	66
4.2.2.	Control de calidad concretos	69
4.2.3.	Costos de materiales	70

<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
5.1. Componentes	73
5.1.1. Cemento	73
5.1.2. Agregados	73
5.1.3. Concretos	73
5.1.3.1. Diseño	73
5.1.3.2. Estado fresco	74
5.1.3.3. Estado endurecido	75
5.2. Integración de costos (1m <sup>3</sup> )	75
5.2.1. Control de calidad de materiales	75
5.2.2. Control de calidad concretos	76
5.2.3. Costos de materiales	76
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>83</b>
<b>APÉNDICE 1</b>	<b>85</b>
<b>APÉNDICE 2</b>	<b>87</b>
<b>APÉNDICE 3</b>	<b>91</b>
<b>APÉNDICE 4</b>	<b>97</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Agregado grueso con características de forma plana y alargada	32
2. Agregado grueso con características de forma redondeada y angular	33
3. Cálculo índice de esfericidad, método Dr. Vitervo O'Reilly	37
4. Cálculo índice de esfericidad, método Dr. Vitervo O'Reilly	38
5. Cálculo índice de esfericidad, método Dr. Vitervo O'Reilly	38
6. Elaboración de concreto	49
7. Ensayo densidad concreto	49
8. Ensayo contenido de aire concreto, método de presión	50
9. Elaboración de especímenes, ensayo resistencia compresión	50
10. Determinación porcentaje de vacíos óptimo	53
11. Determinación factor de esfericidad plana	55
12. Determinación factor de alargamiento	56

13. Determinación factor de alargamiento y de esfericidad, característica “A” agregado grueso, método físico matemático (MVO)	56
14. Composición concreto $As_8$ (%) (MVO)	58
15. Composición concreto $As_{12}$ (%) (MVO)	58
16. Composición concreto $As_8$ (%) (MACI)	60
17. Composición concreto $As_{12}$ (%) (MACI)	61
18. Agregado fino, concretos $As_8$	61
19. Agregado fino, concretos $As_{12}$	62
20. Agregado grueso, concretos $As_8$	62
21. Agregado grueso, concretos $As_{12}$	63
22. Cemento utilizado, concretos $As_8$	63
23. Cemento utilizado, concretos $As_{12}$	64

## TABLAS

I. Materiales nocivos en los agregados	6
II. Ensayos de agregados pétreos	8



III.	Criterios para variabilidad en la resistencia del concreto, en base al nivel de control de calidad del mezclado	15
IV.	Valores M1 y M2, (MVO)	39
V.	Valores W (relación a/c), (MVO)	40
VI.	Cantidad recomendada de agua para mezclas de concreto, (MACI)	42
VII.	Resistencia a compresión estimada en base a la relación agua-cemento utilizada, (MACI)	42
VIII.	Volumen aparente agregado grueso, (MACI)	43
IX.	Caracterización agregado grueso	45
X.	Caracterización agregado fino	46
XI.	Proporciones masa y volumen, métodos evaluados	48
XII.	Resultados determinación % de vacíos óptimo	52
XIII.	Resultados mezcla de prueba	53
XIV.	Característica “A” agregado grueso, método práctico (MVO)	54

XV.	Resultados característica “A” agregado grueso, método físico matemático (MVO)	57
XVI.	Cantidad de cemento real (MVO)	57
XVII.	Resultados concretos estado fresco, (MVO)	64
XVIII.	Resultados concretos estado fresco, (MACI)	65
XIX.	Resultados resistencia a compresión	65
XX.	Resultados resistencia a flexión	66
XXI.	Integración de costos (1 m <sup>3</sup> ), control de calidad materiales	67
XXII.	Costos (1m <sup>3</sup> ) control de calidad materiales	68
XXIII.	Integración de costos (1 m <sup>3</sup> ), control de calidad concretos	69
XXIV.	Integración de costos materiales (1 m <sup>3</sup> ) As <sub>8</sub>	70
XXV.	Integración de costos materiales (1 m <sup>3</sup> ) As <sub>12</sub>	71
XXVI.	Costos materiales (1 m <sup>3</sup> ) concretos elaborados	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>a-c</b>	Relación agua cemento.
<b>f<sup>c</sup></b>	Resistencia a compresión del concreto
<b>σ</b>	Esfuerzo
<b>g</b>	Gramos
<b>Hz</b>	Hertz
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>MACI</b>	Método de diseño de mezclas de concreto ACI (211.1)
<b>MVO</b>	Método de diseño de mezclas de concreto Dr. Vitervo O'Reilly.
<b>PE</b>	Peso específico
<b>PUS</b>	Peso unitario suelto
<b>PUC</b>	Peso unitario compactado

**P**

Factor de alargamiento de la grava

**$\phi$**

Factor de esfericidad plana de la grava

## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Siglas en inglés del Instituto Americano del concreto ( <i>American Concrete Institute</i> ).
<b>Agregado</b>	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico o mortero.
<b>ASTM</b>	Siglas de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los Materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>Concreto</b>	Es una mezcla dosificada de agregados inertes (arena y grava), cemento, agua y aditivos. Los aditivos mejoran o modifican ciertas propiedades del concreto.
<b>Concreto auto compactante</b>	Concreto capaz de fluir y recubrir cualquier parte y rincón del encofrado y a través de las armaduras por la acción de su propio peso y sin la necesidad de cualquier otro tipo de método de compactación sin segregación ni indicios de bloqueo.
<b>Consistencia</b>	Se define a grandes rasgos como la capacidad de colocación de la mezcla de concreto, en la que se involucran propiedades de cohesión y viscosidad, forma parte de la trabajabilidad.

<b>Control de calidad</b>	Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.
<b>Curado</b>	mantenimiento de condiciones favorables de humedad y temperatura del concreto a tempranas edades, para que desarrolle resistencia y otras propiedades.
<b>Material friable</b>	Material que puede reducir su tamaño durante el proceso de tamizado.
<b>Muestra</b>	Grupo de unidades o porción de material, tomados de una cantidad mayor de unidades o de material. Sirve para aportar información para tomar decisiones sobre el conjunto mayor de unidades, sobre un material o sobre un proceso de producción.
<b>Porosidad</b>	Esta dada por su estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista.
<b>Relación a-c</b>	Cociente obtenido al dividir el peso del agua por el peso del cemento en el concreto.
<b>Sanidad</b>	Resistencia de los agregados a la meteorización física y química.

<b>Tenacidad</b>	Se entiende en rocas, como la resistencia a fracturarse bajo el impacto
<b>Trabajabilidad</b>	la propiedad del hormigón fresco que determina la facilidad y homogeneidad con que se puede mezclar, colocar, compactar y terminar, permitiendo su acabado sin segregación ni sangrado nocivos, así como moldeabilidad y adherencia
<b>Vida útil de una estructura</b>	Período en que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética sin costos inesperados de mantenimiento.
<b>Vida residual de una estructura</b>	Tiempo a partir del momento en que la estructura alcanza el fin de la vida útil.





## RESUMEN

En algunas ocasiones los proyectos presentan características muy particulares debido a su ubicación o magnitud que condicionan los materiales que se pueden utilizar en el concreto, dentro de estos casos vale mencionar a los agregados por ser el material con mayor presencia en el concreto (60 al 70 % del volumen de la mezcla), el cual de preferencia deberá cumplir con las especificaciones que las normas establecen sobre sus principales características. La forma y tamaño es una de estos requisitos, aunque no siempre se puede tener a la mano un agregado que cumpla con las especificaciones.

Esto ha motivado que algunos expertos propongan otros métodos de diseño de mezclas de concreto, que incluyan en su análisis la forma, tamaño y textura de los agregados, por lo que actualmente se encuentran varios métodos que han sido evaluados en otros países. Guatemala por su cercanía con los Estados Unidos ha adoptado como base las normas ASTM para su normativa, por lo que generalmente son las normas americanas las que se utilizan en nuestro país.

El presente estudio evaluó los métodos de diseño de mezclas de concreto, el propuesto por el ACI y el del Dr. Vitervo O'Reilly de origen cubano, los cuales tienen la diferencia del análisis de los agregados en su forma y tamaño, para esto se contó con el apoyo de la Empresa Cementos Progreso, para realizar los ensayos necesarios para evaluar estos métodos.



## OBJETIVOS

- **General**

Evaluar concretos elaborados de acuerdo a los métodos de diseño “Dr. Vitervo O’Reilly y Práctica estándar de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1)

- **Específicos**

1. Elaborar y evaluar concretos de acuerdo a las normas aplicables de la ASTM.
2. Comparar la resistencia a compresión de los concretos evaluados de acuerdo al  $f'_c$  de diseño.
3. Determinar los materiales y el costo para  $1 \text{ m}^3$  a los concretos evaluados.
4. Ofrecer información al sector de la construcción.
5. Apoyar a los cursos profesionales de la Escuela de Ingeniería Civil.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la producción de agregados pétreos se ha incrementado debido a una mayor demanda de concreto en el sector de la construcción, éstos deben cumplir con ciertas características para un mejor uso, pero en determinados proyectos se cuenta con agregados que están fuera de las especificaciones de las normas técnicas aplicables y presentan inconvenientes en las mezclas de concreto de acuerdo al interés particular. Existen varios métodos para el diseño de mezclas de concreto, en el presente estudio se evaluaron el propuesto por el ACI y el del Dr. Vitervo O'Reilly, para esto se elaboraron concretos con asentamientos de 8 y 12 cm,  $f'c$  de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> y agregados del mismo tipo para los dos métodos, se contó con el apoyo de la Empresa Cementos Progreso por medio de su laboratorios de agregados, cementos y concreto.

En el capítulo uno se presenta información sobre el concreto, incluyendo definición, tipos, usos, componentes y el control de calidad necesario. El capítulo dos incluye conceptos teóricos sobre diseño de mezclas de concreto, varios métodos que existen con este fin, sus características y normativa aplicable.

El capítulo tres muestra los métodos a evaluar, ampliando conceptos sobre la metodología y normativa aplicables en cada caso, así como ventajas y desventajas de cada uno de ellos. En el capítulo cuatro contiene el desarrollo experimental, incluyendo resultados, tablas y gráficas realizadas, también se calcularon los costos para 1m<sup>3</sup> de concreto del control de calidad necesario así como el de los materiales utilizados en su elaboración.

El capítulo cinco incluye el análisis de los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones productos de este estudio, las cuales se esperan puedan ser de utilidad a los usuarios del concreto.



# 1. CONCRETO

## 1.1. Definición

El concreto u hormigón se define como la mezcla de un material aglutinante (cemento hidráulico), un material de relleno (agregado fino y grueso), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (1)

El concreto (hormigón) es una mezcla de pasta de cemento (cemento, agua y espacios vacíos), agregados y ocasionalmente productos adicionales (aditivos). (3)

## 1.2. Tipos

El concreto se puede clasificar de acuerdo a las propiedades y características de los ingredientes utilizados, las especificaciones que se apliquen, condiciones de servicio del concreto y las condiciones particulares de manejo del mismo.

### 1.2.1 Tamaño máximo del agregado

- mortero
- concreto
- concreto ciclópeo

### 1.2.2 Consistencia

- muy seca
- seca
- semi seca
- media
- húmeda

- muy húmeda

### **1.2.3 Tiempos de fraguado**

- aditivo retardante
- aditivo reductor de agua
- aditivo acelerante

### **1.2.4 Resistencia a la compresión**

- normal (70-420 kg/cm<sup>2</sup>)
- alta resistencia (420-1000 kg/cm<sup>2</sup>)
- ultra alta resistencia (mas de 1000 kg/cm<sup>2</sup>)

### **1.2.5 Durabilidad**

- permeabilidad normal
- concretos impermeables
- concretos resistentes al congelamiento y deshielo

### **1.2.6 Peso unitario**

- ligero
- normal
- pesado

### **1.2.7 Apariencia**

- coloreados
- agregado expuesto
- estampados



### **1.2.8 Especialidad**

- agregado precolocado
- lanzado
- pavimentos
- bombeo
- vaciado por tubo embudo
- fluido
- ligero
- aireado
- reforzado con fibras
- alta resistencia
- compactado con rodillo

### **1.3. Usos**

Dependiendo de las características del proyecto y criterios de diseños utilizados, el concreto deberá de satisfacer algunos requerimientos, así también tener un desempeño adecuado durante las diferentes fases a las que se ve sometido, como lo son:

- diseño
- dosificación
- mezclado
- transporte
- colocación
- curado

Se debe considerar también que el concreto es sujeto de tomar la forma que nos interese por medio de formaletas, lo cual requiere ciertas características de trabajabilidad y consistencia adecuadas. Se pueden mencionar los siguientes usos que puede tener el concreto:

- residencial
- prefabricados
- ornamentales
- estructural
- unidades de mampostería

## **1.4. Componentes**

### **1.4.1 Cemento**

En la norma ASTM C-109 se especifican los procedimientos para evaluar la resistencia a compresión a los cementos en laboratorio, en la cual se obtiene una buena indicación de la resistencia potencial. El efecto de las características reológicas del cemento en cuanto a requerimiento de agua es más notable en concretos de alta resistencia debido a los mayores contenidos de cemento.

Cuando se tienen contenidos altos de cemento, se produce una elevación de temperatura significativa en los elementos, ante esto se deberá de utilizar el cemento adecuado (cemento Portland tipo II, o cementos con adiciones activas). Una última consideración es la optimización del conjunto cemento–aditivo, cuando se utilizan estos materiales. Además, está demostrado que el cemento representa alrededor de las tres cuartas partes del costo de los materiales para fabricar un metro cúbico de concreto normal sin aditivos químicos.

#### **1.4.1.1. Tipos de cementos hidráulicos**

- Cemento Portland (ASTM C-150)
- Cementos mezclados (ASTM C-595)
- Cementos especiales

### **1.4.2 Agregados**

También se les llaman rocas, material granular o agregado mineral, son aquellos materiales pétreos resultantes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de rocas, con forma, y distribución de tamaños apropiados.

Muchos estudios han demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la grava redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla con las partículas angulares. Sin embargo, se debe evitar una angularidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, angular, triturado 100 % con un mínimo de partículas planas y elongadas. (3)

Algunos de los aspectos importantes al escoger un agregado para un tipo de obra a construir son:

- resistencia
- durabilidad
- economía

Asimismo las principales características de los agregados, a considerar para fabricar un concreto son:

- dureza
- resistencia
- graduación
- durabilidad
- limpieza
- tenacidad

**Tabla I Materiales nocivos en los agregados**

<b>Sustancias</b>	<b>Efectos en el concreto</b>	<b>Normas ASTM aplicables</b>
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado, el endurecimiento y la resistencia del concreto, pueden causar deterioro.	ASTM C-40, C-87
Material mas fino que la malla 200 (80 micras)	Afectan a la adherencia, aumentan la cantidad de agua requerida en el concreto	ASTM C-117
Carbón, lignito u otros materiales de peso ligero	Afectan la durabilidad pueden ser causa de manchas y erupciones	ASTM C-123
Partículas suaves	Afectan la durabilidad	
Terrones de arcilla y partículas deleznales	Afectan a la trabajabilidad y la durabilidad, pueden provocar erupciones	ASTM C-142
Horsteno de densidad relativa inferior a 2.4	Afecta a la durabilidad, pueden provocar erupciones	ASTM C-123, C-295
Agregados reactivos con los álcalis	Expansión anormal, agrietamiento en forma de mapas, erupciones	ASTM C-227, C-289, C-295, C-342 y C-586

#### **1.4.2.1. Clasificación**

Para clasificarlos se utilizan varios criterios, entre los que se pueden mencionar los siguientes. (ver tabla II)

#### **1.4.2.1.1. Según su origen**

- Agregados naturales

Son los que se encuentran en la corteza terrestre y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. A través de estos procesos se obtiene los agregados tradicionales como arena y grava.

- Agregados artificiales

Son producto de aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización.

#### **1.4.2.1.2. Por su tamaño**

- Agregados finos (arena)

Son aquellos con el 95% de sus partículas menores de 4.75 mm. (Tamiz núm. 4).

- Agregados gruesos (grava)

Son aquellos con el 95% de sus partículas mayores de 4.75 mm. (Tamiz núm. 4).

#### **1.4.2.1.3. Por su densidad**

- Agregados ligeros

Son aquellos cuya densidad está entre 500-1000 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en concreto de relleno o en mampostería estructural.

- Agregados normales

Son aquellos cuya densidad está entre 1300-1600 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en concretos comunes.

- Agregados pesados

Son aquellos cuya densidad está entre 3000-7000 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en hormigones pesados, como centrales nucleares o usos especiales.

#### 1.4.2.1.4. Por su forma

- Canto rodado

Proveniente de cauces de ríos, su forma es redondeada.

- Triturado

Proveniente de piedra de cantera, su forma es angular.

- Canto rodado y triturado (mixto)

Proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural. Su forma es redondeada con caras fracturadas. La resistencia de las partículas individuales del agregado, depende básicamente del tamaño y distribución de sus poros, y de la presencia de planos de debilidad tales como micro fisuras o minerales débiles.

**Tabla II Ensayos a agregados pétreos**

Ensayo	Significado	Normas Aplicables
Muestreo de agregados	Mostrar de manera efectiva la naturaleza y las condición de los materiales que lo representan	ASTM D-75
Reducción de muestra	Reducción de muestra para prueba	ASTM D-702
Peso específico y absorción	Cálculo de volumen ocupado por el agregado en mezclas que contienen agregados. PEA, densidad de las partículas que no incluyen espacios de poros. La absorción es el cambio en el peso de un agregado debido al agua absorbida por los poros de las partículas	ASTM C-127, C-128
Peso unitario y vacíos	Determina valores de peso unitario necesarios para valores de selección para mezclas de concreto, y computar el porcentaje de vacíos entre partículas de agregados	ASTM C-29

Continúa

Impurezas orgánicas	Suministra advertencia de impurezas orgánicas presentes en los agregados finos	ASTM C-40
Cantidad de material fino que pasa el tamiz núm. 200	Cantidad de material más fino, que no se puede calcular por la prueba C-136	ASTM C-117
Estabilidad en agregados	Determina la resistencia de los agregados en solución de sulfato de sodio. Simula la expansión de agua en la congelación. Juzga la firmeza o solidez de los agregados sujetos a la acción del clima	ASTM C-88
Terrones de arena y partículas friables	Índice de terrones de arcilla y partículas friables	ASTM C-142
Gradación	Determina la distribución de las partículas en agregados gruesos y finos por medio de tamiz	ASTM C-136
Abrasión en agregados gruesos	Índice de calidad de los agregados de la fuente de agregados. Mide la degradación y el porcentaje de pérdida	ASTM C-131
Partículas planas y alargadas	Determina las características de la forma del agregado	ASTM D-4791
Caras fracturadas	Determina la característica de caras fracturadas del agregado grueso	INV E-227

### 1.4.3 Agua

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

Aún cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto pres forzado debido al riesgo de corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

Después que se ha colocado el hormigón y la estructura de la pasta se ha establecido, el agua debe estar siempre disponible, especialmente durante las etapas iniciales de la hidratación. Durante este período, una gran cantidad de agua se combina con el cemento. Toda esa agua pierde aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de su volumen después que se han completado las reacciones químicas. (3)

Agua adicional que pueda entrar en la estructura incrementará la hidratación y, así también el porcentaje de sólidos por unidad de volumen de pasta, incrementando la resistencia. Si los agregados son capaces de absorber una moderada cantidad de agua, pueden actuar como recipientes diminutos distribuidos por todo el hormigón, así proporcionando esa agua adicional que es benéfica para las pastas de baja relación agua-cemento. (3)

#### **1.4.4 Aditivos**

Son productos que se utilizan para modificar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los morteros o concretos, en estado fresco ó endurecido, regularmente sus presentaciones son en líquidos pero también los hay en polvo. Entre la normativa aplicable a los aditivos tenemos las siguientes: ASTM C 260, C 494, C 101, C 618, C 989, C 845 y C 1240.



La selección del tipo, marca y dosificación de los aditivos, debe hacerse considerando el conjunto de materiales que se utilizarán en determinado proyecto. Aumento significativo en la resistencia, control sobre el tiempo de fraguado, desarrollo acelerado de resistencia, mejora en la trabajabilidad y durabilidad, son contribuciones que se pueden esperar dependiendo del tipo de aditivo escogido. El método de incorporación del aditivo a la mezcla debe ser tal que garantice una correcta y completa distribución del mismo. Un mezclado adecuado es crítico para la obtención de un desempeño uniforme.

Los diseños de mezclas de concreto de alta resistencia incorporan factores de cemento que no son comunes a los utilizados en concretos convencionales. El diseño estructural generalmente determina secciones con mucho acero de refuerzo, o formas muy complicadas, con la dificultad en la colocación del concreto. Un retardador puede controlar el tiempo de fraguado del hormigón colocado para eliminar juntas frías y dar mayor flexibilidad a la colocación. Los plastificantes o aditivos reductores de agua incrementan la resistencia del hormigón sin alterar la velocidad del fraguado. Los aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes son una herramienta sin la cual no se hubiera desarrollado el concreto de alto desempeño hasta los niveles actuales, mediante la utilización de estos aditivos se puede obtener altas resistencias a temprana edad (24 h).

Las adiciones minerales y cementos de escoria, como cualquier material en un concreto, deben ser evaluados mediante procedimientos normalizados para establecer las cualidades deseables óptimas.

#### **1.4.4.1. Tipos de Aditivos**

- Inclusiones de aire
- Acelerantes
- Retardantes

- Retardantes para extender la vida
- Repelentes integrales de agua
- Modificadores de adherencia
- Pigmentos de color
- Inhibidores de corrosión
- Adiciones minerales

#### **1.4.5 Aire**

La resistencia del concreto dependerá de la relación gel–espacio, la que se define como la relación entre el volumen de pasta de cemento hidratada y la suma de los volúmenes de pasta de cemento hidratada más los de los poros capilares. Esto es particularmente cierto cuando se utilizan agentes incorporadores de aire. De aquí que la resistencia de la mezcla se pueda reducir de un 5 % a 7 % por cada 1% de aire en la mezcla.

El aire incorporado tiene el efecto de disminuir la resistencia, particularmente en mezclas de alta resistencia, por esa razón se ha utilizado sólo donde se necesita una alta durabilidad, como por ejemplo en concretos que estarán sujetos a ciclos de congelación y deshielo.

#### **1.5. Control de calidad**

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

En el concreto serán aquellas acciones que nos permitan contar con información sobre la calidad de sus componentes, así como de su desempeño en estado fresco y endurecido, llevándose a cabo esta actividad en laboratorios especializados y en obra por personal capacitado, actualmente existen organismos que acreditan al personal que se dedica a esta actividad.

La falta de un adecuado control de calidad puede ocasionar problemas de carácter técnico, económico e inclusive costar vidas humanas, lo que justifica plenamente la implementación de estos controles así como una adecuada supervisión en obra durante las diferentes etapas del proyecto. Existen criterios estadísticos que las normas presentan a efecto de poder calificar las mezclas realizadas, habrá que determinar si la distribución de los resultados de resistencia se puede representar mediante una distribución normal.

Asimismo definir la edad de ensayo para aceptación del concreto, se recomienda la edad tradicional de 28 días, aunque muchos investigadores sugieren establecer la fecha de ensayo en 56 o 90 días, debido a los tipos de cementos que en la actualidad existen. Para satisfacer requerimientos de resistencia para el diseño de estructuras ( $f^c$ ), la resistencia promedio del concreto debe excederla, depende de la variabilidad de los resultados obtenidos expresados mediante el coeficiente de variación o la desviación estándar. Se deberán tomar en consideración los siguientes aspectos dentro del proceso de control de calidad.

- Medición de la resistencia
- Forma y tamaño de la probeta
- Tipo de molde
- Preparación de la probeta
- Temperatura de la mezcla

- Condiciones ambientales
- Experiencia del laboratorista

La calidad y consistencia de las propiedades del concreto son cruciales y se deben tomar todos los pasos apropiados para alcanzarlas. (ver tabla III)

### **1.5.1 Control en obra**

El control en obra del proceso de fabricación del concreto constituye un aspecto fundamental. Debe prestarse especial atención a los siguientes puntos

- Respetar las proporciones de los componentes del concreto obtenidos en laboratorio, a menos que se produzcan cambios en sus características, en cuyo caso deberán efectuarse ajustes al diseño.
- Controlar la humedad de los agregados, particularmente apilándolos en lugares protegidos contra la lluvia. En caso de no ser posible controlar los cambios de humedad se debe verificar periódicamente su contenido.
- No utilizar agregados que contengan sales o materiales orgánicos.
- No utilizar cemento que denote inicios de un proceso de fraguado.
- Controlar constantemente que el asentamiento del cono de Abrams se encuentre dentro de límites aceptables. Si se usan aditivos, deben hacerse previamente mezclas de prueba para asegurarse de su buen comportamiento. Se deberá tener especial cuidado con el transporte del hormigón para no producir segregación.
- Tomar un número suficiente de muestras cilíndricas para poder realizar ensayos a los 3, 7, y 28 días. Se deberán tener para poder ensayarlas ocasionalmente a los 56 y 90 días.

**Tabla III Criterios para variabilidad en la resistencia, en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado**

Tipo de control	Desviación estándar ( $\sigma$ )
Muy bueno (laboratorios especializados)	0.07 $f'm$
Bueno (concreto premezclado o control de calidad en estado fresco constante)	0.14 $f'm$
Regular (dosificaciones volumétricas o medición del asentamiento regular)	0.21 $f'm$
Deficiente	0.28 $f'm$



## **2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO**

### **2.1. Antecedentes**

El concreto es un material muy versátil que ha permitido la solución de infinidad de problemas así como la ejecución de una amplia gama de proyectos, ayudando con esto al desarrollo en la industria de la construcción. Para un obtener un concreto de la calidad esperada de acuerdo al diseño, es necesario llevar a cabo cada una de las etapas que se involucran en la elaboración de estructuras de concreto (dosificación, mezclado, transporte, colocación, curado y procedimientos de control), lo que requiere de personal calificado tanto en la producción como en laboratorios de ensayo, a continuación se presenta una breve descripción sobre estos aspectos.

#### **2.1.1. Dosificación**

##### **2.1.1.1. Control, manejo y almacenamiento de materiales**

Es esencial un buen acopio de los agregados, uniformidad en la humedad de los materiales durante el proceso de dosificación y un procedimiento correcto de muestreo. En lo posible localizar la instalación lo más próximo al sitio de la obra, para reducir tiempos de acarreo.

##### **2.1.1.2. Medición y pesaje**

Son esenciales para obtener buenos resultados, en lo que se refiere a mantener la relación agua–cemento necesaria para el desarrollo de resistencia, se debe determinar lo más preciso que sea posible la humedad de los agregados.

### **2.1.1.3. Carga de materiales**

Influye en el correcto mezclado del concreto, tanto en mezcladoras estacionarias como en camiones mezcladores. La norma ASTM C 94 establece las condiciones que deben cumplir los fabricantes de concreto, para obtener un correcto mezclado de los materiales.

### **2.1.2. Mezclado**

- mezclado en sitio
- desempeño de la mezcladora
- tiempo de mezclado
- concreto premezclado

### **2.1.3. Transporte**

Cada método tiene sus ventajas y desventajas dependiendo de la localización de la obra, de la facilidad para ingresar a la misma, condiciones de uso, clima, etc. y deben ser consideradas al momento de decidir el tipo de transporte a emplearse.

#### **2.1.3.1. Camiones mezcladores**

Este método resulta recomendable para acarreos largos ya que se puede determinar el momento apropiado para la introducción del cemento en el tambor.

#### **2.1.3.2. Bombeo**

El capítulo 9 del ACI 304 provee información sobre el uso de bombas para transportar el concreto.



### **2.1.3.3. Cintas transportadoras**

### **2.1.4. Colocación**

### **2.1.5. Consolidación**

### **2.1.6. Curado**

El curado es el proceso de mantener el contenido de humedad necesario y la temperatura favorable en el concreto durante el período de hidratación de los materiales cementicios. La resistencia potencial y durabilidad del concreto se desarrollarán por completo solamente si el curado es aplicado de manera correcta durante un período adecuado antes de ponerlo en servicio.

## **2.2. Métodos de diseño**

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado. La cantidad de materiales que intervienen en una mezcla de concreto y la manera en que la variación de sus características influye en las propiedades de la misma, hace necesario el contar con uno o más métodos de dosificación. El proporcionamiento puede ser:

- empírico (proporciones arbitrarias) basado en observación y cierta experiencia.
- teórico (método de proporcionamiento basado en relaciones vacíos- cemento o vacíos morteros).
- método empírico directo respaldado por principios y consideraciones técnicas (método de tanteos recomendado en la actualidad).

Los métodos deben permitir, partiendo de un análisis previo de los componentes, definir una dosificación de los materiales para obtener la combinación óptima que satisfaga los requerimientos deseados, con el menor número de ajustes posibles. Se deben de considerar los siguientes aspectos:

- adaptarse al amplio rango de propiedades de los ingredientes
- basarse en propiedades de los mismos, que sean fáciles de determinar
- ser fácil de usar y consistir del menor número de pasos, para evitar errores.

### **2.2.1. Método ACI 211**

El método del Comité ACI 211 es el más utilizado en concretos convencionales por su simplicidad y buena aproximación a las proporciones óptimas de la mezcla. (ver capítulo 3)

### **2.2.2. Método Dr. Vitervo O'Reilly**

El procedimiento propuesto por el cubano Vitervo O'Reilly recomienda la combinación grava/arena que proporcione el menor contenido de vacíos, el contenido del cemento y del agua, se determinan mediante factores que dependen de la relación agua-cemento y de la consistencia deseada en la mezcla. Recomendado cuando tenemos agregados de forma y tamaño irregular. (ver capítulo 3.)

### **2.2.3. Método LCPC–modificado (Larrard)**

Desarrollado por F. de Larrard para dosificar mezclas de concreto de alto desempeño, parte del método experimental desarrollado por el *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC), e incorpora fundamentos teóricos y métodos experimentales para la determinación de propiedades de las pastas cementantes.

El método experimental del LCPC, consiste en ajustar primero las proporciones de agregado grueso y fino mediante la utilización de un contenido arbitrario de pasta de cemento, hasta obtener la trabajabilidad óptima o deseada. Este método, aunque involucra bastante trabajo de laboratorio, analiza exhaustivamente las características de la pasta ligante y obtener así la mejor dosificación.

#### **2.2.4. Método Mironof**

Se basa en principios científicos además de seguir un proceso técnico, es sencillo y presenta economía, tuvo bastante uso durante la segunda guerra mundial, especialmente indicado en los casos que se tienen agregados naturales (combinaciones de agregados grueso y fino sin separar). El método parte de que la característica más importante del concreto es la resistencia a compresión, no solo por ella misma sino por la forma como influye en las otras. Se calcula en función de la relación agua-cemento y de la clase o grado de actividad del cemento utilizado.

La granulometría de los agregados se determina para el caso de los obtenidos directamente en canteras, estableciendo la relación de finos a gruesos, el % permisible va del 30- 42 para los finos (óptimo 30 al 32%).

El siguiente paso consiste en determinar la compacidad de la mezcla en seco de los agregados, basándose en métodos de compactación enérgicos y compatibles como los usados para determinar la consistencia del concreto fresco. Establecida la relación agua-cemento necesaria para la resistencia que deseamos, se determina la cantidad de cemento en masa necesaria para producir una pasta que llene los vacíos del agregado.

#### **2.2.5. Método de peso volumétrico máximo de grava y arena**

Es utilizado en México, se encuentra descrito en el Manual de Tecnología del Concreto, del Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, consiste en determinar experimentalmente la combinación porcentual de grava y arena que ofrezca el máximo peso volumétrico (mínimo contenido de vacíos), obteniendo el volumen de la pasta a través del cálculo del vacío, luego el del agua y cemento por la relación agua-cemento de acuerdo con la resistencia requerida.

### **2.2.6. Método británico**

Usa factores empíricos para el diseño de mezclas, en los cuales se determinan primero el agua de la mezcla de acuerdo con el revenimiento y el tamaño máximo del agregado y después la cantidad del agregado fino, el último de los componentes se calcula por diferencia.

### **2.2.7. Método concreto auto compactante**

Con este método de diseño de mezclas se obtiene un concreto, que comparado con un concreto vibrado convencional, normalmente presenta:

- menor contenido de agregados gruesos
- mayor contenido de pasta
- menor relación agua-finos
- aumento de aditivo superplastificante
- opcionalmente aditivos moduladores de la viscosidad

### **2.2.8. Método por durabilidad del concreto**

Se basa para su control de calidad en los mismos procedimientos que para un concreto convencional, se deberán de integrar algunos conceptos particulares como los siguientes:

- determinación de la vida útil del proyecto
- análisis de los efectos del medio ambiente
- selección del modelo de durabilidad para el diseño
- determinar los parámetros de durabilidad
- resistencia a compresión
- permeabilidad del concreto
- tipo y cantidad de cemento
- método de curado

- tipo de acero de refuerzo
- dimensiones del elemento

### **2.2.9. Método basado en la teoría del exceso de pasta**

En 1940 C. T. Kennedy propuso una teoría razonable para un método de diseño de mezclas, dentro de la cual proponía la “Teoría del Exceso de Pasta”, en la que se explica que para obtener una adecuada trabajabilidad es necesario tener no solo suficiente pasta de cemento para cubrir la superficie de los agregados, si no también para minimizar la fricción inter-granular y rellenar los vacíos entre partículas.

En 1993, de Larrard y Tondat introducen el concepto de máximo espesor de pasta, ellos consideraron a los agregados como una inclusión en la pasta y con la ayuda de un cálculo geométrico simple, evaluaron la distancia entre dos partículas de agregados y la llamaron “Máximo Espesor de Pasta”, su aplicación directa fue la de predecir la resistencia a la compresión del concreto, utilizamos los siguientes parámetros para su cálculo:

- $D_{max}$  tamaño máximo del agregado
- $g^*$  compacidad de la mezcla de solo agregados.
- $g$  compacidad de los agregados en la mezcla de concreto.

La teoría del exceso de pasta fue recientemente modificada por investigadores de la Universidad de Tokio, para encontrar un valor de  $t_p$  (mm) mas adecuado. Se utiliza principalmente en diseños de mezclas de concretos de alto desempeño.

### **2.2.10. Método basado en la teoría del diámetro promedio y espacio entre agregados**

El volumen de pasta debe ser tal que lleve los vacíos entre los agregados y cree una capa envolviendo las partículas de agregado, para lograr una adecuada trabajabilidad. Van K. Bui relacionó las características de volumen de pasta con dos parámetros fácilmente calculables y medibles, el diámetro promedio y el espacio entre agregados; además menciona que la diferencia entre la densidad de agregados y la pasta es relativamente constante y no es un factor principal en la interacción agregados pasta. El espacio promedio entre las partículas del agregado puede ser calculado con los siguientes parámetros:

- $D_{ss}$  espacio promedio entre la superficie de dos partículas de agregados
- $V_p$  volumen de pasta
- $V_{void}$  porosidad o volumen de vacíos de los agregados
- $V_c$  volumen total del concreto
- $D_{av}$  diámetro promedio de los agregados

El diámetro promedio de los agregados  $D_{av}$ , puede ser calculado con la ayuda de su distribución granulométrica. Se utiliza principalmente en diseños de mezclas de concretos de alto desempeño.

### **2.2.11. Método basado en la teoría de la capa adherida**

En 1999, el Ing. C. Yanqui, publicó un método para el diseño de mezclas de concreto, basado en la teoría de ensambles y la naturaleza fractal de las curvas granulométricas, este presentó varios conceptos muy interesantes y completamente aplicables a las mezclas de concreto, uno de estos fue la descripción de la estructura plástica o fluida donde se presenta la forma como las partículas de cemento adquieren una capa o envoltura producida por su campo electro molecular; por lo cual el investigador usa estos conceptos para predecir el comportamiento reológico de la pasta. Se utiliza principalmente en diseños de mezclas de concretos de alto desempeño.

**2.2.12. Diseño de mezclas de concreto estructural. Norma COVENIN 1753:2005 (R) Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural**

**2.2.13. Método de diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos**

Se obtienen concretos de consistencia seca, asentamiento nulo que se colocan de forma continua y su compactación se realiza por medio de un rodillo normalmente vibrante, utiliza los mismos fundamentos que han sido la base para determinar el contenido de cemento para mezcla de suelo-cemento por más de 50 años. En el método se utiliza una granulometría de agregados fija que involucre un programa de ensayos de variación de contenido de cemento y la comparación de resultados una vez que el contenido de agua es determinado por los principios de humedad-densidad usados regularmente en el laboratorio de suelos.

Se deben de considerar los aspectos de resistencia y durabilidad del concreto para la decisión final del contenido de cemento.

**2.2.14. Método de la Universidad Politécnica de Valencia**

Se determina a partir de las condiciones de trabajo y de control de la estructura a construir. No considera el aire atrapado, la relación agua-cemento se define a partir de la resistencia a compresión especificada, del tipo de agregados y tipo de cementos, asentamiento se determina según el tipo de la obra a construirse. Para el contenido y distribución de los agregados también tiene una metodología particular a aplicar.

### **2.2.15. Método de la Asociación del Cemento Portland**

En esencia es similar al método propuesto por el ACI, los resultados son parecidos cuando se mezclan en laboratorio, da instrucciones particulares sobre la metodología y la caracterización de los componentes.

### **2.3. Características**

Muchos métodos se han desarrollado a lo largo de la historia para este fin, tales como:

- proporcionamiento por máxima densidad de los agregados
- proporcionamiento por superficie específica de los agregados
- proporcionamiento por relación vacíos–cemento y vacíos en el mortero
- proporcionamiento por contenido de vacíos en el agregado grueso
- proporcionamiento por módulo de finura de los agregados

Unos han demostrado ser más adecuados para determinado tipo de aplicaciones, otros ya han caído en desuso. Generalmente las especificaciones de los materiales a emplear en una estructura las indica el diseñador en los planos y memorias del proyecto en particular.

Las propiedades del concreto endurecido son especificadas por el ejecutor de la estructura, mientras que las propiedades del concreto en estado fresco están regidas por el tipo de construcción y las condiciones de transportación y colocación. Los métodos actuales de diseño de mezclas contemplan valores límites respecto de un rango de propiedades que deben cumplirse, estas son usualmente:

- relación agua-cemento
- contenido mínimo de cemento
- resistencia a la compresión mínima
- tamaño máximo del agregado



- trabajabilidad mínima
- módulo de finura de la arena
- granulometría de los agregados
- contenido de aire

En general las mezclas de concreto diseñadas por el método de contenido mínimo de vacíos suelen manifestar reducida trabajabilidad, porque la obtención de esta característica usualmente demanda un cierto exceso de mortero con respecto al que se obtiene con el mínimo consumo de pasta. En el método del ACI el revenimiento es un dato que sirve de base para diseñar las mezclas de concreto, mientras que en el de mínimo contenido de vacíos es una referencia para mejorar la mezcla de prueba en caso de que el revenimiento haya sido diferente del especificado.

Las mezclas diseñadas por el método ACI tienden a ser más trabajables, esto se debe a que la proporción de grava compactada se determina en función del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura de la arena, y no se hace distinción entre agregados naturales o triturados. Puede afirmarse que con el procedimiento de mínimos vacíos se obtienen mezclas de concreto con arena en defecto, mientras que el método del ACI produce mezclas de concreto con arena en exceso.

Estas características de los métodos de dosificación son muy importantes para aquellos que apenas se inician en el conocimiento sobre diseño de mezclas de concreto, o para los productores de concreto en obra que no disponen de métodos apropiados o empresas de premezclado a la mano, ya que pueden decidir sobre el empleo de uno u otro método según los requerimientos de su proyecto.

El método del Comité ACI 211 es el más utilizado en concretos convencionales por su simplicidad y buena aproximación a las proporciones óptimas de la mezcla. Sin embargo, para concretos de alto desempeño suelen utilizarse algunas modificaciones, utilizando contenidos de agregado grueso mayor debido a la alta cantidad de materiales cementantes.

## **2.4. Normativa aplicable**

En la mayoría de países existen normas aplicables al concreto para su diseño, caracterización de sus componentes, dosificación, control de calidad en estado fresco y endurecido, las cuales se ven influenciadas por las normativas de organismos cercanos con mayor capacidad y trayectoria a nivel internacional, como las normas ASTM o las normas de la comunidad europea. A continuación se presentan algunas aplicables al concreto.

### **2.4.1. Europa**

- UNE 83900 Hormigón, fabricación, puesta en obra y criterios de aceptación.
- PNE UNE 12350 1 Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: muestreo.
- PNE UNE 12350 2 Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: ensayo de asentamiento.
- UNE EN 12620 Áridos para hormigón
- UNE EN 13055 1 Áridos ligeros. Parte 1: áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado.
- PNE ENV 13670 1 Ejecución de estructuras de hormigón. Parte 1: generalidades.

#### **2.4.2. American Society for Testing and Materials (ASTM)**

- ASTM C-31 Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field (Práctica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo de concreto en obra)
- ASTM C-33 Standard Specification for concrete aggregates (Especificación estándar para agregados para concretos).
- ASTM C-39 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (Método estándar de ensayo resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto).
- ASTM C-78 Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third point loading) (Método de ensayo estándar de resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga a los tercios del tramo))
- ASTM C-136 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates (Método de ensayo estándar para análisis de agregados finos y gruesos por medio de tamices)
- ASTM C-143 Standard test method for slump of hydraulic cement concrete (Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico)
- ASTM C-173 Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the volumetric method (Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método volumétrico)
- ASTM C-192 Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory (Práctica estándar para elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio)
- ASTM C-231 Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method (Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método de presión)

- ASTM C-403 “Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance” (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración)
- ASTM C-1064 Standard test method for temperature of freshly mixed portland cement concrete (Método estándar de ensayo para temperatura de mezclas de concreto de cemento portland frescas)

#### **2.4.3. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)**

- COGUANOR NGO 41 002 Cementos hidráulicos mezclados. Terminología y especificaciones.
- COGUANOR NGO 41 003 h 20 Cementos hidráulicos. Determinación de reactividad alcalina potencial de las combinaciones de cementos y agregados.
- COGUANOR NGO 41 006 Terminología referente al hormigón y los agregados para hormigón.
- COGUANOR NGO 41 017 h 1-12, Determinación de las propiedades físico mecánicas del hormigón.

### **3. MÉTODOS A EVALUAR**

#### **3.1. Método del Dr. Vitervo O'Reilly (MVO)**

##### **3.1.1. Descripción**

Método desarrollado bajo el concepto de considerar la forma de las partículas de los agregados y el objetivo de reducir al mínimo el porcentaje de vacíos de la mezcla, buscando tener concretos más durables y compactos, con un ahorro de cemento, por lo que el Dr. O'Reilly considera que el método tradicional de la curva "granulométrica ideal" no es el más indicado para diseños de concretos con agregados de elevadas proporciones de partículas con geometría inadecuada.

Existen dos alternativas para determinar la característica "A" (forma y tamaño) del agregado:

- Práctico: lleva más tiempo, debe mantenerse un alto grado de precisión en los ensayos necesarios. Se recomienda para aquellos casos en los que las características del proyecto lo ameriten.
- Físico matemático: se basa en la evaluación de las características de forma y tamaño del agregado a utilizar, como son la esfericidad estereométrica y la redondez de de cada una de ellas, determinando el coeficiente de alargamiento (L) y de angulosidad (G), con lo que se llega a una expresión que permite un mejor cálculo. La esfericidad relaciona la forma del agregado con una esfera de igual volumen, a pesar de que esta característica es determinada cualitativamente, sirve para clasificar los granos angulosos y redondeados en alto y bajo grado de esfericidad, conforme se aproxime o no a la esfera. el grado de redondez (redondeamiento) describe la suavidad de los contornos y su grado de curvatura.

Para el presente trabajo se evaluaron las dos alternativas para determinar la característica “A” del agregado grueso de manera de aplicar la metodología que el método del Dr. Vitervo O’Reilly propone. Se hace la observación que el agregado utilizado cumple con las especificaciones de forma y tamaño de las normas ASTM aplicables.

Una vez que se han establecido las características granulométricas de los agregados, el siguiente aspecto por definir es el que se refiere a la adecuada combinación de la grava y la arena, se recomienda la que proporcione el menor contenido de vacíos. El cálculo del cemento y agua se determinan mediante factores que dependen de la relación agua-cemento y de la consistencia deseada en la mezcla.

El método produce el mejor acomodo de partículas para dar el mínimo contenido de vacíos en la mezcla seca de agregados compactos y a su favor puede decirse que en su ejecución quedan implícitamente comprendidos los efectos inherentes a la forma y textura superficial de las partículas, además del tamaño máximo y la granulometría de los agregados.

**Figura 1 Agregado grueso con características de forma plana y alargado**



**Figura 2 Agregado grueso con características de forma redondeada y angular**



### 3.1.2. Metodología de diseño (ver tablas VI, VII , VIII y Figuras 1,5, 6, 7, 8 y 9)

1. Determinar el peso específico y unitario corriente de la arena y la grava secadas en horno.
2. Determinar el peso unitario compactado de las mezclas secas de arena y grava de las proporciones
3. Determinar el peso específico corriente de cada una de las mezclas anteriores.

$$PEC_m = [(PEC_a * \% A) + (PEC_g * \% G)] / 100$$

$PEC_m$  = peso específico corriente o aparente (suelto) de la mezcla de los agregados.

$PEC_a$  = peso específico corriente o aparente de la arena.

$PEC_g$  = peso específico corriente o aparente del agregado grueso.

% **AF** = porcentaje del agregado fino en la mezcla.

% **AG** = porcentaje del agregado grueso en la mezcla.

4. Se calcula el % de vacíos de cada mezcla anterior:

$$\% V = [(PEC_m - PUC_m) / PEC_m] * 100$$

5. Con la mezcla óptima de agregados (menor % de vacíos), se realiza un concreto con la consistencia y resistencia deseada, utilizando la cantidad de cemento y agua acostumbrada (experiencia) y con ello:

- Se determina la cantidad de agua por tanteo para un  $A_s$  requerido.
- Se obtiene la resistencia a compresión (28 días) del concreto elaborado.

6. La determinación de la característica “A” del agregado grueso se realizó por los dos métodos (práctico y físico matemático), para el primero se utilizan los resultados de los ensayos realizados (numerales anteriores), la resistencia a compresión del concreto y del cemento (obtenida en laboratorio) a los 28 días. Para el segundo se indica la metodología más adelante.

$$A = R_h / [R_c * (M_1 * V + M_2)]$$

$A$  = característica del agregado grueso (método práctico)

$R_h$  = resistencia promedio a compresión del concreto a los 28 días.

$R_c$  = resistencia a compresión del cemento utilizado a los 28 días. (De laboratorio)

$M_1, M_2$  = valores dependientes de la consistencia del concreto (de tablas).

$V$  = valor dependiente de la relación agua-cemento (de tablas)



7. Con la característica “A” de la grava, la resistencia de concreto y cemento a los 28 días, se determina el valor de “v”, que refiere un valor de relación a-c, “w” (ver tabla V).

$$V = [((R_h) / (R_c * A))] - M_2) / M_1$$

**R<sub>h</sub>** = Resistencia a compresión del concreto que queremos obtener, MPa.

**R<sub>c</sub>** = Resistencia a compresión del cemento, MPa.

**M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>** = valores dependientes de la consistencia del concreto (ver tabla IV).

**A** = Característica del agregado grueso. (práctica y físico matemática)

8. Determinados los valores de v y w (numeral anterior), se puede calcular la cantidad de cemento realmente necesaria:

$$c = a / w$$

**c** = cantidad de cemento real para la mezcla final.

**a** = agua requerida para el As requerido.

**w** = valor determinado en el numeral anterior.

9. Conociendo la característica “A”, la cantidad de agua y cemento necesarias, para obtener la resistencia del concreto deseado, se puede calcular la cantidad de agregados para 1 m<sup>3</sup> (1000 L) de concreto, como se sabe que:

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacíos} = 1000 \text{ L}$$

$$V_{ar} = 1000 - [(C/\gamma_c) + V_{ag} + V_{vacíos}]$$

**C** = Cantidad de cemento en masa

**γ<sub>c</sub>** = Peso específico del cemento (3.12 g/cm<sup>3</sup>)

**V<sub>ar</sub>** = Volumen de los agregados (fino y grueso)

**V<sub>ag</sub>** = Volumen del agua.

$V_{\text{vacios}}$  = Volumen de poros en litros, se supone que para concretos normales, los poros constituyen el 2 %, por el aire atrapado en el mezclado y manejo.

10. Se determina la cantidad de agregado fino y grueso de acuerdo a la proporción de la mezcla óptima. (1 m<sup>3</sup> tiene ± 2-3 % aire atrapado)

$$[(\% A * P_{af}) / \gamma_{af} + (\% G * P_{ar}) / \gamma_{ag}] = V_{ar}$$

$\% A$  = porcentaje de agregado fino en la mezcla

$\% G$  = porcentaje de agregado grueso en la mezcla

$\gamma_{af}$  = peso específico agregado fino

$\gamma_{ag}$  = peso específico agregado grueso

$V_{ar}$  = volumen de agregados

$P_{ar}$  = peso total de los agregados

$$PEC_m = [(PEC_a * \% AF) + (PEC_g * \% AG)] / 100$$

$PEC_m$  = peso específico corriente o aparente (suelto) de la mezcla de los agregados.

$PEC_a$  = peso específico corriente o aparente de la arena.

$PEC_g$  = peso específico corriente o aparente del agregado grueso.

$\% AF$  = porcentaje del agregado fino en la mezcla.

$\% AG$  = porcentaje del agregado grueso en la mezcla.

### 3.1.3. Normativa aplicable

Se aplican las normas ASTM sobre control de calidad de concreto y sus componentes, correspondientes. (ver tablas I, II y III)

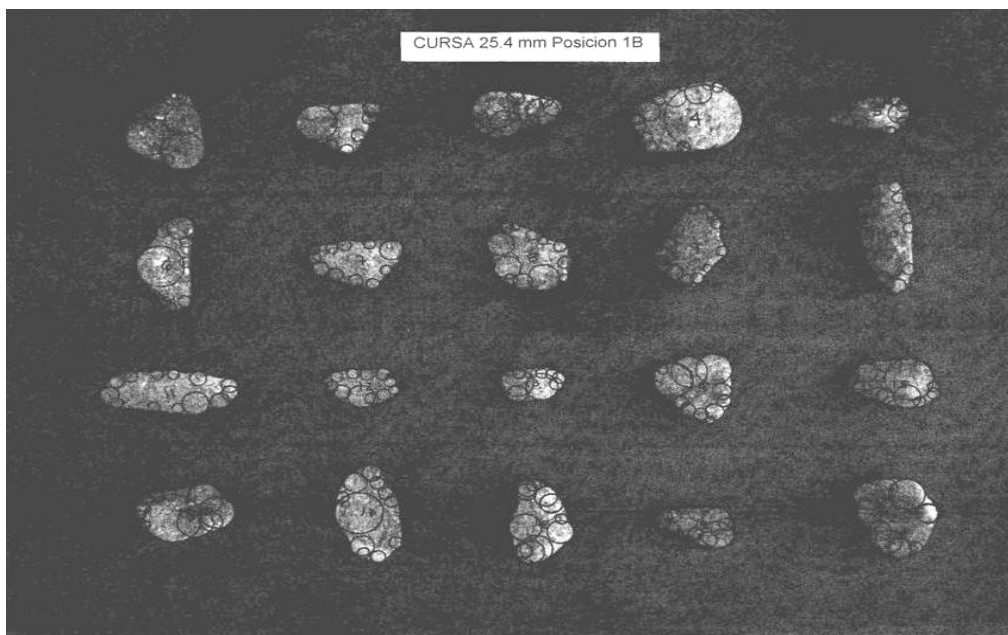
#### 3.1.4. Ventajas y desventajas del método.

El Dr. O'Reilly considera que el método tradicional de la curva "granulométrica ideal" no es el más indicado para diseños de concretos con agregados de elevadas proporciones de partículas con geometría inadecuada.

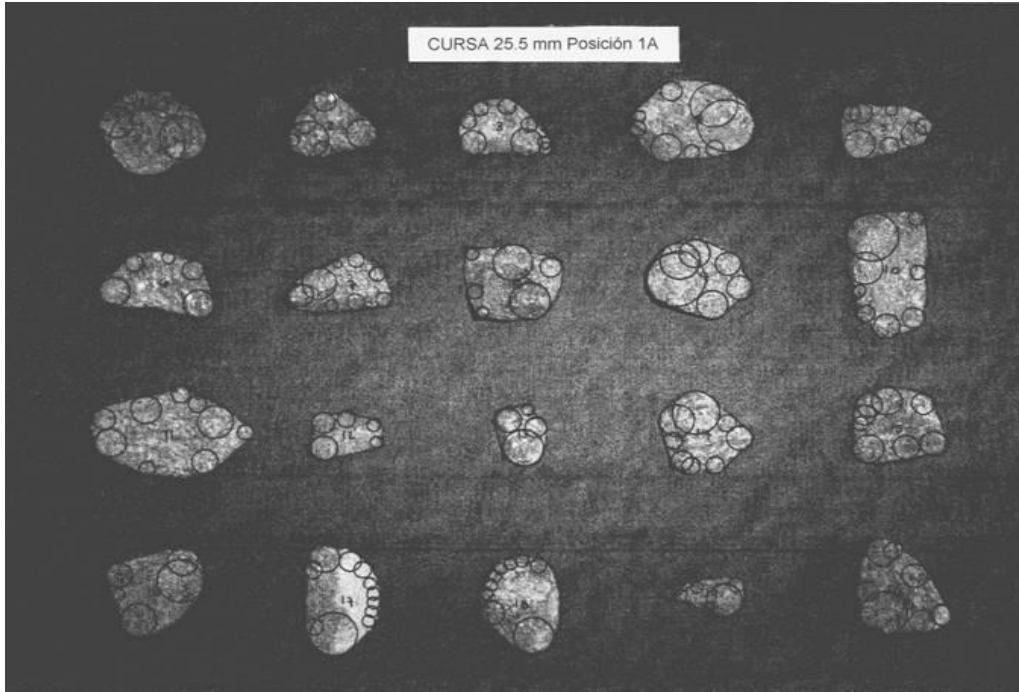
En general las mezclas de concreto diseñadas por el método de contenido mínimo de vacíos suelen manifestar reducida trabajabilidad, porque la obtención de esta característica usualmente demanda un cierto exceso de mortero con respecto al que se obtiene con el mínimo consumo de pasta. Puede afirmarse que con el procedimiento de mínimos vacíos se obtienen mezclas de concreto con arena en defecto, bajo consumo de cemento, menos trabajabilidad y con ajustes a la mezcla de prueba.

Es necesario un trabajo de laboratorio preliminar bastante minucioso, se recomienda solo en aquellos casos que las características del proyecto y de los agregados lo ameriten (forma y tamaño fuera de especificaciones).

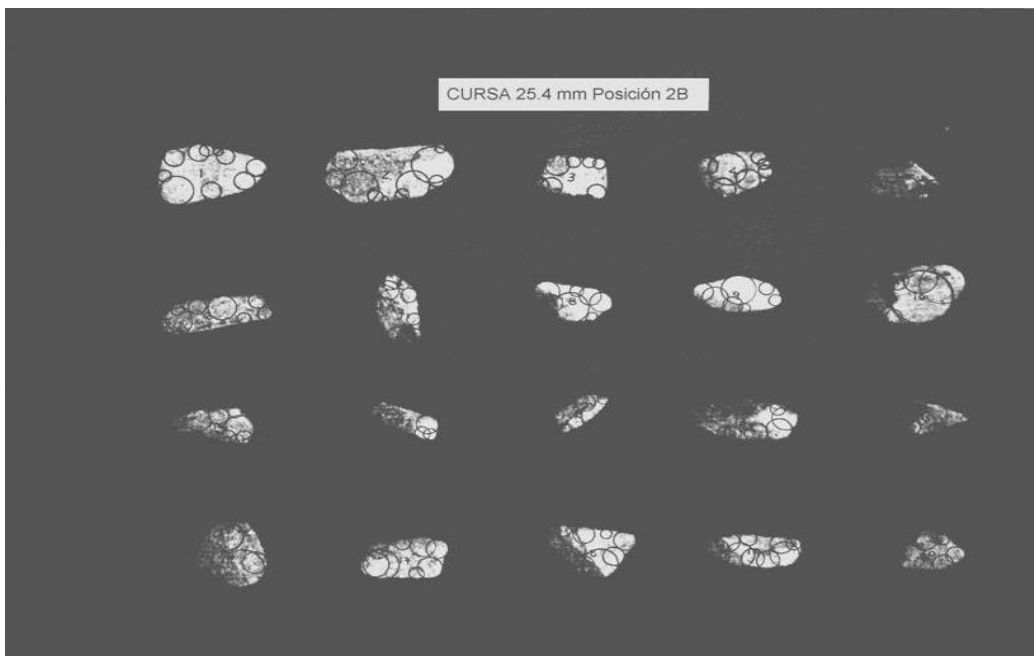
**Figura 3 Cálculo índice de esfericidad, (MVO)**



**Figura 4 Cálculo índice de esfericidad, (MVO)**



**Figura 5 Cálculo índice de esfericidad, (MVO)**



**Tabla IV Valores  $M_1$  y  $M_2$ , (MVO)**

<b>Valores <math>M_1</math> y <math>M_2</math></b>		
<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Valor M</b>	
3	$M_1$	4.4447
	$M_2$	0.2930
4	$M_1$	4.3843
	$M_2$	0.3014
5	$M_1$	4.3239
	$M_2$	0.3101
6	$M_1$	4.2635
	$M_2$	0.3189
7	$M_1$	4.2031
	$M_2$	0.3281
8	$M_1$	4.1427
	$M_2$	0.3375
9	$M_1$	4.0823
	$M_2$	0.3472
10	$M_1$	4.0219
	$M_2$	0.3572
11	$M_1$	3.9315
	$M_2$	0.3674
12	$M_1$	3.9011
	$M_2$	0.3780
13	$M_1$	3.8407
	$M_2$	0.3888
14	$M_1$	3.7803
	$M_2$	0.4000
15	$M_1$	3.7199
	$M_2$	0.4115
16	$M_1$	3.6595
	$M_2$	0.4233

**Tabla V Valores W (relación a/c), (MVO)**

<b>Tabla valores <math>v</math>, W</b>											
<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>	<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>	<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>	<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>	<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>	<b>w</b>	<b>Valor <math>v</math></b>
0.30	0.523	0.36	0.444	0.42	0.377	0.48	0.319	0.62	0.208	0.70	0.1549
0.31	0.509	0.37	0.432	0.43	0.367	0.49	0.310	0.63	0.200	0.71	0.1487
0.32	0.495	0.38	0.420	0.44	0.377	0.58	0.237	0.64	0.194	0.72	0.1427
0.33	0.482	0.39	0.401	0.45	0.347	0.59	0.230	0.65	0.187	0.73	0.1367
0.34	0.467	0.40	0.398	0.46	0.337	0.60	0.222	0.66	0.181	0.74	0.1308
0.35	0.456	0.41	0.382	0.47	0.328	0.61	0.215	0.67	0.174	0.75	0.1249

### **3.2. Método Práctica de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1) (MACI)**

#### **3.2.1. Descripción**

En el método del ACI el revenimiento es un dato que sirve de base para diseñar las mezclas de concreto. Se determinan primero el agua de la mezcla de acuerdo con el revenimiento y el tamaño máximo del agregado, después la cantidad de la grava, el último de los componentes se calcula por diferencia. Se determina la variabilidad de la resistencia del hormigón, en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado en obra. (ver tabla I)

#### **3.2.2. Metodología de diseño**

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. Selección del asentamiento, cuando este no se especifica el método del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de asentamientos de acuerdo con el tipo de construcción.

2. La elección del tamaño máximo del agregado, debe considerar la separación de los costados de la formaleta, espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada.

3. El método presenta una tabla con los contenidos de agua recomendados en función del asentamiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto con y sin aire incluido. (ver tabla VI)

4. Para el cálculo de la resistencia, se proporciona una tabla con los valores de la relación agua-cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, esta debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. (ver tabla VII)

5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua determinada en el paso tres y la relación agua-cemento obtenida en el paso cuatro.

6. El método ACI presenta una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, depende del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. (ver tabla VIII)

7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por masa o por volumen absoluto.

8. Luego se deben ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir humedad total menos absorción.

9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad

apropiada mediante el asentamiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado.

**Tabla VI Cantidad recomendada de agua para mezclas de concreto, (MACI)**

<b>Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados (kg/m<sup>3</sup>)</b>								
<b>Asentamiento (mm)</b>	<b>Tamaño máximo del agregado (mm)</b>							
	<b>10</b>	<b>12.5</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>150</b>
<b>30 a 50</b>	205	200	185	180	160	155	145	125
<b>80 a 100</b>	225	215	200	195	175	170	160	140
<b>150 a 180</b>	240	230	210	205	185	180	170	-
<b>Contenido de aire atrapado (%)</b>	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

**Tabla VII Resistencia a compresión estimada en base a la relación agua-cemento utilizada, (MACI)**

<b>Resistencia a compresión estimada en base a la relación a-c</b>	
<b>Resistencia a Compresión (28 días) (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Relación Agua - Cemento, por masa</b>
420	0.41
350	0.48
280	0.57
210	0.68
140	0.82



**Tabla VIII Volumen aparente agregado grueso, (MACI)**

Tamaño máximo del agregado cm (in)	Volumen del agregado grueso seco compactado por unidad de volumen del concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3
0.95 (3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
1.27 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
1.27 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.6
2.54 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
3.81 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
5.08 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
7.62 (3)	0.82	0.8	0.78	0.76
15.24 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

### 3.2.3. Normativa aplicable

Se aplican las normas ASTM sobre control de calidad de concreto y sus componentes, correspondientes. (ver tablas I, II y III)

### 3.2.4. Ventajas y desventajas

Uno de los objetivos del método del ACI es lograr concretos manejables, que sean de fácil colocación en las formaletas. Las mezclas diseñadas por este método tienden a ser más trabajables, lo que se debe a que la proporción de grava compactada se determina en función del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura de la arena, y no se hace distinción entre agregados naturales o triturados. El método del ACI produce mezclas de concreto con arena en exceso, mayor consumo de cemento, buena trabajabilidad y pocos ajustes a la mezcla de prueba. El agregado a utilizar debe cumplir con las especificaciones de tamaño y forma de las normas ASTM aplicables.



## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Caracterización de materiales

##### 4.1.1.1. Cemento Portland tipo I

Tipo 5000 psi, marca Cementos Progreso, cumple con lo especificado en la norma ASTM C-150. (ver apéndice 1)

##### 4.1.1.2. Agregado grueso

Con tamaño máximo nominal de 2.54 cm (1”), procedente de la Planta de Agregados de Guatemala AGREGUA ubicada en Amatitlan, los ensayos fueron realizados en el laboratorio de agregados, cementos y concreto del Centro Tecnológico de Cementos Progreso. Se siguieron los procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM aplicables. (ver tabla IX y apéndice 2)

**Tabla IX Caracterización agregado grueso.**

<b>Resultados agregado grueso 2.54 cm (1”)</b>	
<b>Planta AGREGUA Amatitlan</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
ASTM C-29 Masa unitaria suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1474.3
ASTM C-29 Masa unitaria compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1588.4
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	0.91

Continúa

ASTM C-127 Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.69
ASTM C-127 % de absorción	0.63
ASTM C-125 Módulo de finura	7.12
ASTM C-136 Granulometría	Cumple con la especificación

#### 4.1.1.3. Agregado fino

Agregado natural de mina, procedente de la Planta de Agregados de Guatemala AGREGUA ubicada en Amatitlan, los ensayos fueron realizados en el laboratorio de agregados, cementos y concreto del Centro Tecnológico de Cementos Progreso. Se siguieron los procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM aplicables. (ver tabla X y apéndice 2)

**Tabla X Caracterización agregado fino.**

<b>Resultados agregado fino Planta AGREGUA Amatitlan</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
ASTM C-29 <b>Peso unitario volumétrico suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1312.6</b>
ASTM C-29 <b>Peso unitario volumétrico compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1410.7</b>

**Continúa**

<b>ASTM C-117</b> <b>% de material que pasa el</b> <b>tamiz 200</b>	<b>3.9</b>
<b>ASTM C-128</b> <b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.53</b>
<b>ASTM C-128</b> <b>% de absorción</b>	<b>6.57</b>
<b>ASTM C-125</b> <b>Módulo de finura</b>	<b>2.70</b>
<b>ASTM C-136</b> <b>Granulometría</b>	<b>Cumple con la</b> <b>especificación</b>

**4.1.2. Diseño de mezclas**

**4.1.2.1. Justificación**

El tamaño y forma de los agregados influye de manera significativa en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, los métodos de diseño utilizan diferentes criterios al considerar el tamaño y forma de los agregado como una característica que requiere mayor grado de evaluación. Los métodos evaluados fueron:

- Dr. Vitervo O'Reilly (MVO)
- Práctica de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1). (MACI)

Tomar en cuenta lo siguiente:

- El agregado grueso utilizado, cumple lo indicado en las normas ASTM sobre tamaño y forma.
- Para los dos métodos se consideró un  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

- Para los dos métodos, se tomaron valores de asentamientos de 8 y 12 cm.
- Para el método del Dr. Vitervo O'Reilly se calculó la característica "A" del agregado por las dos alternativas (práctico y físico matemático).

#### 4.1.2.2. Proporciones en masa y volumen

**Tabla XI Proporciones masa y volumen, métodos evaluados**

Proporciones en masa y volumen absoluto								
Método	Asentamiento (cono de Abrams)							
	8 cm				12 cm			
	Vol. Abs.	Material	Masa teórica	Masa práctica	Vol. Abs.	Material	Masa teórica	Masa práctica
(kg/m <sup>3</sup> )			(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )			(kg/m <sup>3</sup> )	
Dr. Vitervo O'Reilly	1:2,78:3,92	Cemento	312,00	312,00	1:2,7:3,8	Cemento	319,00	319,00
		Arena	712,61	774,66		Arena	706,30	767,80
		Piedrín	1068,90	1062,17		Piedrín	1059,05	1052,38
		Agua	200,00	152,00		Agua	204,00	158
		a - c	0,64	0,66		a - c	0,64	0,67
ACI (211.1)	1:3,54:4,35	Cemento	283,57	283,57	1:3,29:4,16	Cemento	296,65	296,65
		Arena	824,35	873,39		Arena	802,37	850,10
		Piedrín	1078,42	1071,63		Piedrín	1078,42	1071,63
		Agua	192,83	171,00		Agua	201,72	174
		a - c	0,68	0,75		a - c	0,68	0,72

#### 4.1.3. Elaboración y evaluación de concretos

Los concretos fueron elaborados y evaluados en el laboratorio de agregados, cementos y concreto del Centro Tecnológico de Cementos Progreso, siguiendo procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables. (ver tabla IV, figuras Nos. 2, 3, 4 y 5 y apéndice 3)

**Figura 6 Elaboración de concreto**



**Figura 7 Ensayo densidad del concreto**



**Figura 8 Ensayo contenido de aire, método de presión**



**Figura 9 Elaboración de especímenes, ensayo resistencia compresión**





#### 4.1.3.1. Dosificación

##### 4.1.3.1.1. Método Dr. Vitervo O'Reilly (MVO)

###### 1. Datos agregados

- % humedad arena 15.85
- % humedad pedrín 0.0
- % absorción arena 6.57
- % absorción pedrín 0.63

###### 2. Criterios de diseño

- Resistencia del cemento utilizado (fabricante) 350.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a compresión cemento (laboratorio) utilizado 416.0 kg/cm<sup>2</sup>
- f<sup>c</sup> requerido 210.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamientos 8 y 12 cm
- Característica "A" método físico matemático 0.5233
- Característica "A<sub>8</sub>" método práctico, 0.7380
- Característica "A<sub>12</sub>" método práctico 0.7195
- Cantidad de cemento (experiencia), A<sub>8</sub> 297.0 kg/m<sup>3</sup>
- Cantidad de cemento, (experiencia) A<sub>12</sub> 315.0 kg/m<sup>3</sup>
- Cantidad de agua (experiencia) A<sub>8</sub> 180.0 kg/m<sup>3</sup>

- Cantidad de agua  
(experiencia)  $A_{s12}$  190.0 kg/m<sup>3</sup>
- Volumen mezcla 0.1 m<sup>3</sup>
- Mezclado mecánico

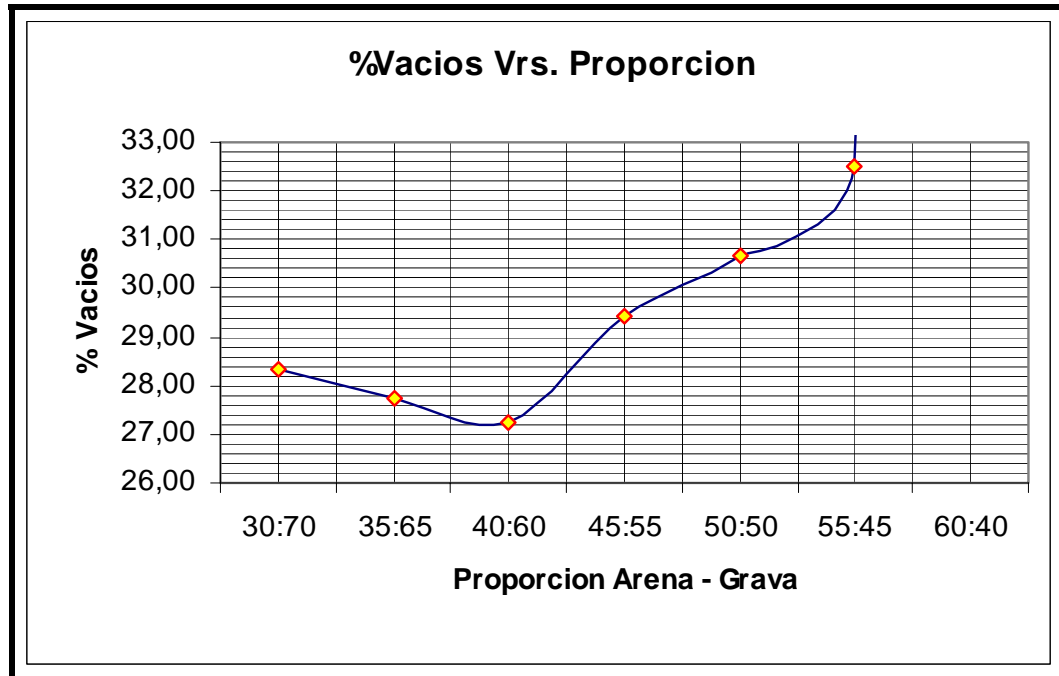
### 3. Diseño de mezcla

- Determinación de peso específico y unitario corriente de los agregados
  - PEC arena = 2530.0 kg/m<sup>3</sup>
  - PEC grava = 2690.0 kg/m<sup>3</sup>
  - PUC arena = 1410.7 kg/m<sup>3</sup>
  - PUC grava = 1588.4 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado de las mezclas de agregados
- Peso específico corriente de las mezclas
- El menor porcentaje de vacíos de las mezclas anteriores es la combinación 40:60. (ver tabla XII, figura 10)
- Se realiza la mezcla de prueba con la combinación de agregados óptima.

**Tabla XII Resultados determinación % de vacíos óptimo (MVO)**

% de vacios combinaciones de agregados realizadas	
Proporción arena – grava (%)	% Vacíos
30:70	28,34
35:65	27,74
<b>40:60</b>	<b>27,24</b>
45:55	29,41
50:50	30,65
55:45	32,51

**Figura 10 Determinación porcentaje de vacíos óptimo**



**Tabla XIII Resultados mezcla de prueba (MVO)**

Resultados mezcla de prueba		
Cantidad 1 m <sup>3</sup> (en base a experiencia)	Asentamiento deseado	
	As <sub>8</sub>	As <sub>12</sub>
cemento acostumbrado para la resistencia (210 kg/cm <sup>2</sup> )	297.0 kg/m <sup>3</sup>	315 kg/m <sup>3</sup>
agua acostumbrada para el asentamiento deseado	180.0 kg/m <sup>3</sup>	190 kg/m <sup>3</sup>
agua total, de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados y el asentamiento deseado	200.0 kg/m <sup>3</sup>	204.0 kg/m <sup>3</sup>
resistencia del concreto a los 28 días	317.0 kg/cm <sup>2</sup>	334.0 kg/cm <sup>2</sup>

- f. Utilizando los resultados anteriores encontramos la característica “A” del agregado grueso. El método del Dr. Vitervo O’Reilly está recomendado para agregados que presentan características de forma y tamaño particulares (fuera de especificaciones de normas), para el presente estudio el agregado si cumple con las especificaciones aplicables.
- i. Método práctico

$$A = R_h / [R_c * (M_1 * V + M_2)]$$

**Tabla XIV Característica “A” agregado grueso, método práctico (MVO)**

<b>Cálculo característica “A” agregado grueso (método práctico)</b>		
<b>Datos</b>	<b>Asentamiento cm</b>	
	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Cemento (kg)</b>	297.0	315.0
<b>Agua (kg)</b>	200.0	204.0
<b>R<sub>h1</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	317.0	334.0
<b>R<sub>c</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	415.9	415.9
<b>M<sub>1</sub></b>	4.143	3.901
<b>M<sub>2</sub></b>	0,3375	0.3780
<b>a/c</b>	0.66	0.67
<b>V</b>	0.1734	0.1734
<b>A</b>	<b>0.7380</b>	<b>0.7195</b>

ii. Método físico matemático

$$A = (P + \phi) / 10$$

P = factor de alargamiento de la grava

$\phi$  = factor de esfericidad plana de la grava

Estos relacionan la forma del agregado con una esfera de igual volumen, a pesar de que esta característica es determinada cualitativamente, sirve para clasificar los granos angulosos y redondeados en alto y bajo grado de esfericidad, conforme se aproxime o no a la esfera. el grado de redondez (redondeamiento) describe la suavidad de los contornos y sus grado de curvatura.

Figura 11 Determinación factor de esfericidad plana, (MVO)

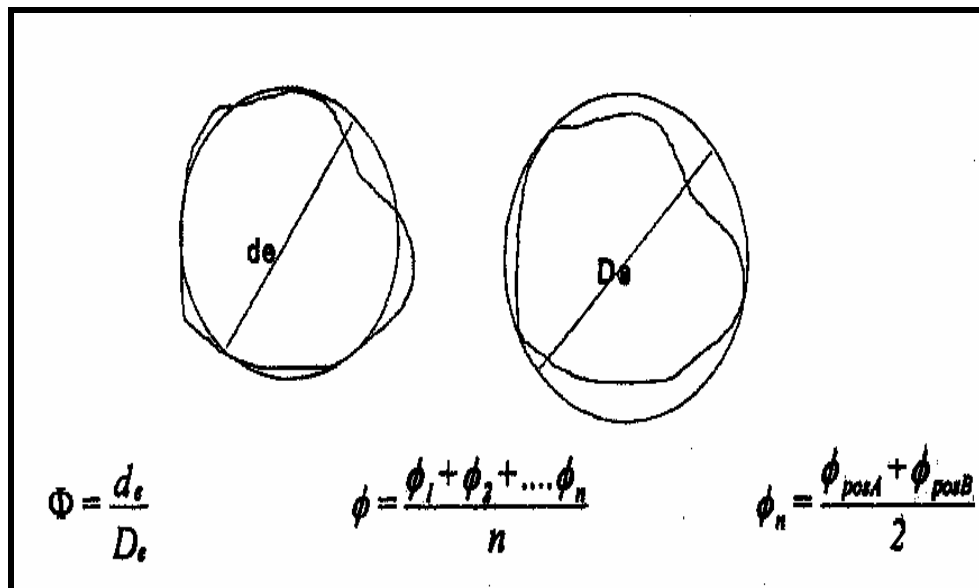


Figura 12 Determinación factor de alargamiento, (MVO)

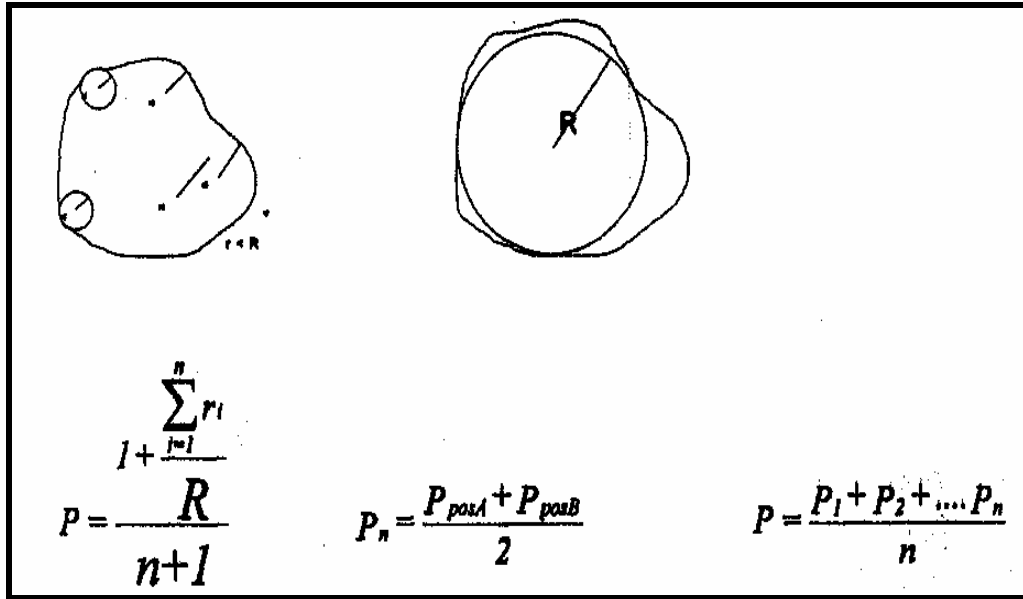
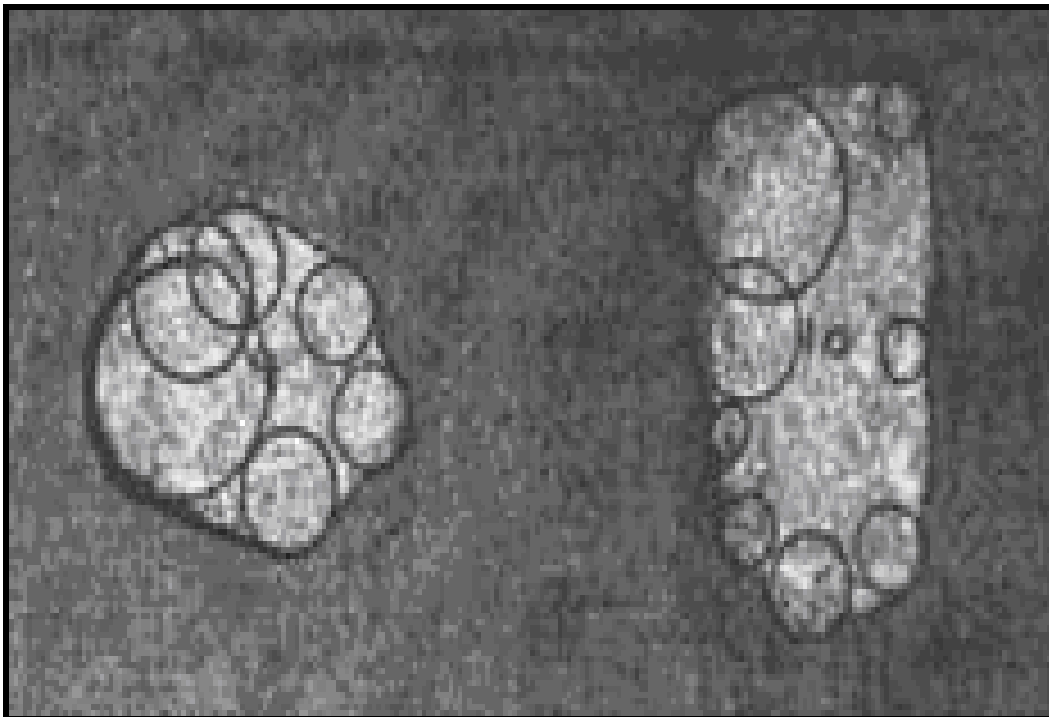


Figura 13 Determinación factor de alargamiento y esfericidad, característica "A" agregado grueso, método físico matemático (MVO)



**Tabla XV Resultados característica “A” agregado grueso, método físico matemático (MVO) (ver apéndice 4)**

<b>Cálculo característica “A” agregado grueso (físico matemático)</b>			
<b>Datos</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>A (valor promedio)</b>
<b>P</b>	0.4401	0.4938	
<b>Φ</b>	0.7805	0.7509	
<b>A</b>	<b>0.5221</b>	<b>0.5245</b>	<b>0.5233</b>

- g. Teniendo la característica A del agregado grueso, resistencia del concreto y cemento a los 28 días, encontramos el valor de “V” para luego encontrar la cantidad de cemento real.

**Tabla XVI Cantidad de cemento real (MVO)**

<b>Cálculo cantidad de cemento real</b>		
<b>Datos</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>	
	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>valor de "v" (tablas)</b>	0.1953	0.1970
<b>valor de “w” para “v” (tablas)</b>	0.66	0.67
<b>Cantidad de cemento real (kg)</b>	312.0 kg	319.0 kg

- h. Cálculo cantidad de agregados para 1 m<sup>3</sup>

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacios} = 1000 \text{ L}$$

$$V_{ar} = 1000 - [ (C/\gamma_c) + V_{ag} + V_{vacios} ]$$

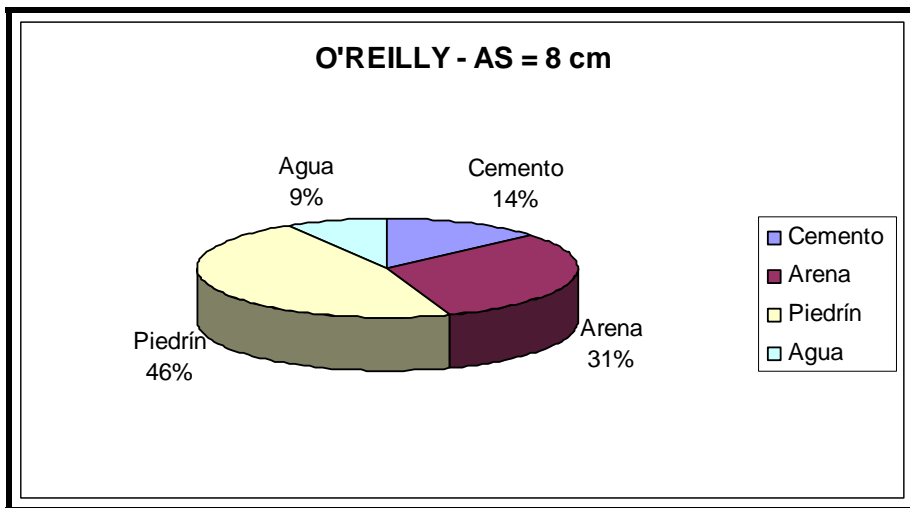
$$V_{vacios} \quad \quad \quad 20.0 \text{ L}$$

$$V_{ar} \quad \quad \quad 673.0 \text{ L}$$

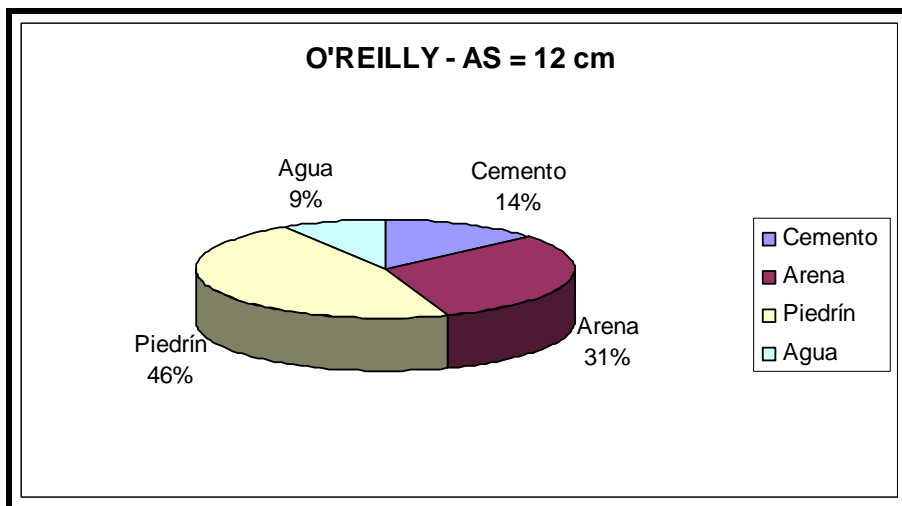
$$\text{Cantidad de agregados } A_{S8} \quad \quad 1782.0 \text{ kg}$$

- Agregado grueso 712.61 kg
  - Agregado fino 1068.92 kg
- Cantidad de agregados  $As_{12}$  1765.0 kg
- Agregado grueso 706.03 kg
  - Agregado fino 1059.05 kg

**Figura 14 Composición concreto  $As_8$  (MVO)**



**Figura 15 Composición concreto  $As_{12}$  (MVO)**





#### **4.1.3.1.2. Método ACI (211.1) (MACI)**

##### **1. Características agregados**

- % humedad arena 12.91
- % humedad pedrín 0.0
- % absorción arena 6.57
- % absorción pedrín 0.63

##### **2. Criterios de diseño**

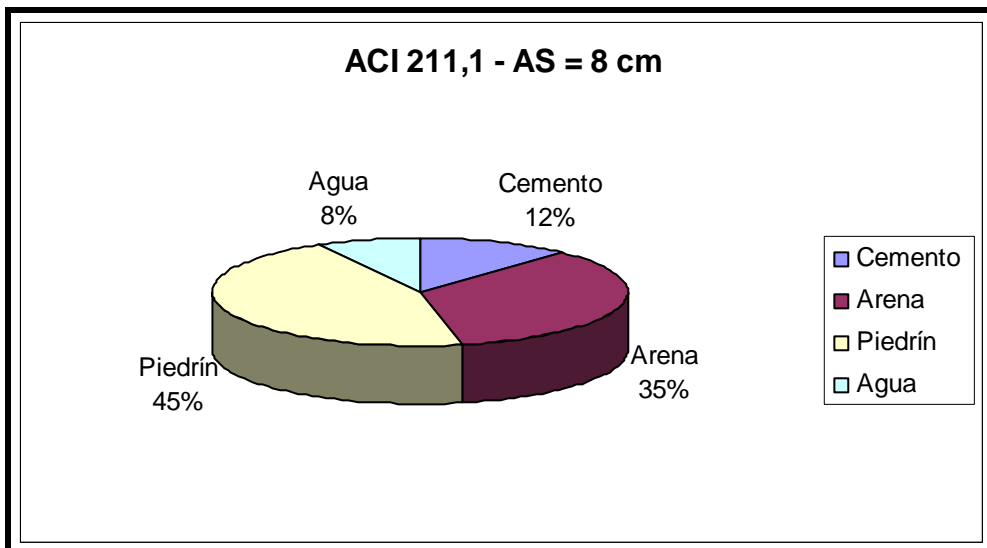
- Resistencia cemento utilizado (fabricante) 350.0 kg/cm<sup>2</sup>
- f'c 210.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Tamaño máximo nominal del agregado 2.54 cm (1 “)
- Módulo de finura 2.7
- Asentamientos 8 y 12 cm
- Volumen mezcla 0.1 m<sup>3</sup>
- Mezclado mecánico

##### **3. Diseño de mezcla**

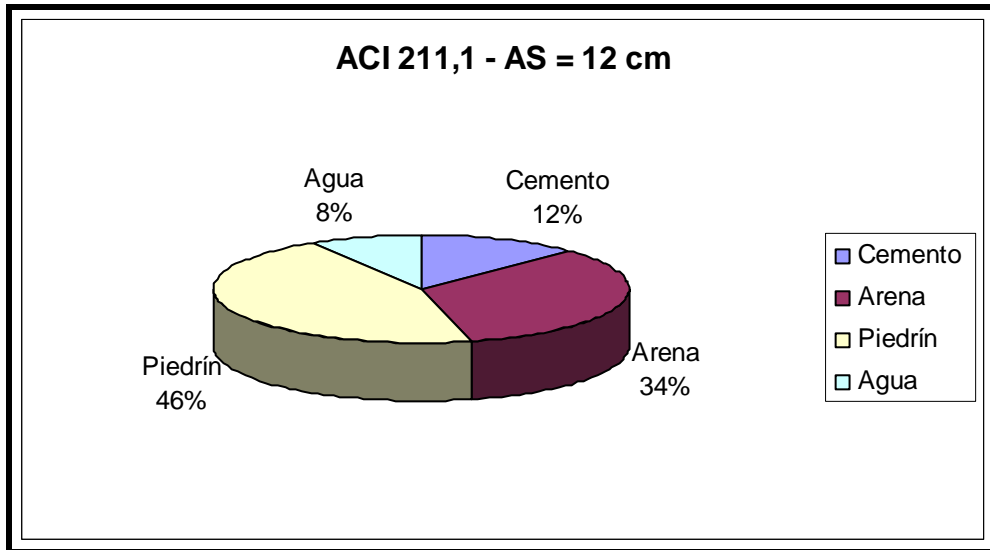
- a. Selección del asentamiento (ver tabla VIII)
- b. Selección del tamaño máximo del agregado, de acuerdo a características del proyecto. (ver tabla VII)
- c. Contenido de agua en función del asentamiento y tamaño máximo del agregado seleccionados. (ver tabla V)
- d. Resistencia a la compresión, de acuerdo a la relación a-c seleccionada. (ver tabla VI)
- e. Calculo del contenido de cemento, de acuerdo a la cantidad de agua seleccionada y la relación a-c a utilizar. (ver tabla VIII)

- f. Cálculo cantidad de agregado grueso por volumen unitario de concreto, depende del tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fi(tablas)
- g. Cálculo del agregado fino por diferencia con la cantidad total de agregados y la cantidad de agregado grueso calculada. Por masa o volumen absoluto.
- h. Aplicar factor de corrección a las mezclas por la humedad de los agregados (humedad total menos absorción).
- i. Ajustes en las mezclas de pruebas, se deben verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire y la trabajabilidad apropiada mediante la prueba de asentamiento.

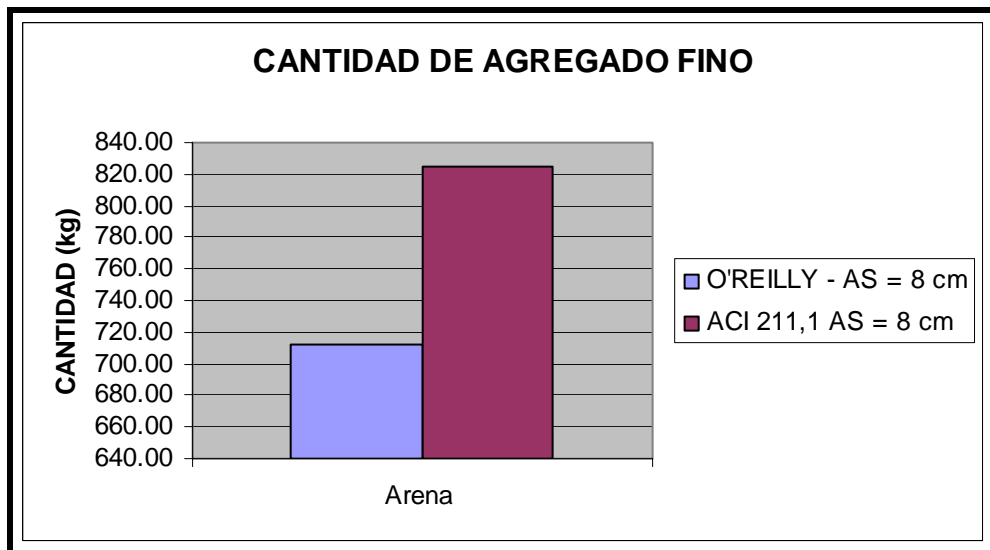
**Figura 16 Composición concreto As<sub>8</sub> (% masa) (MACI)**



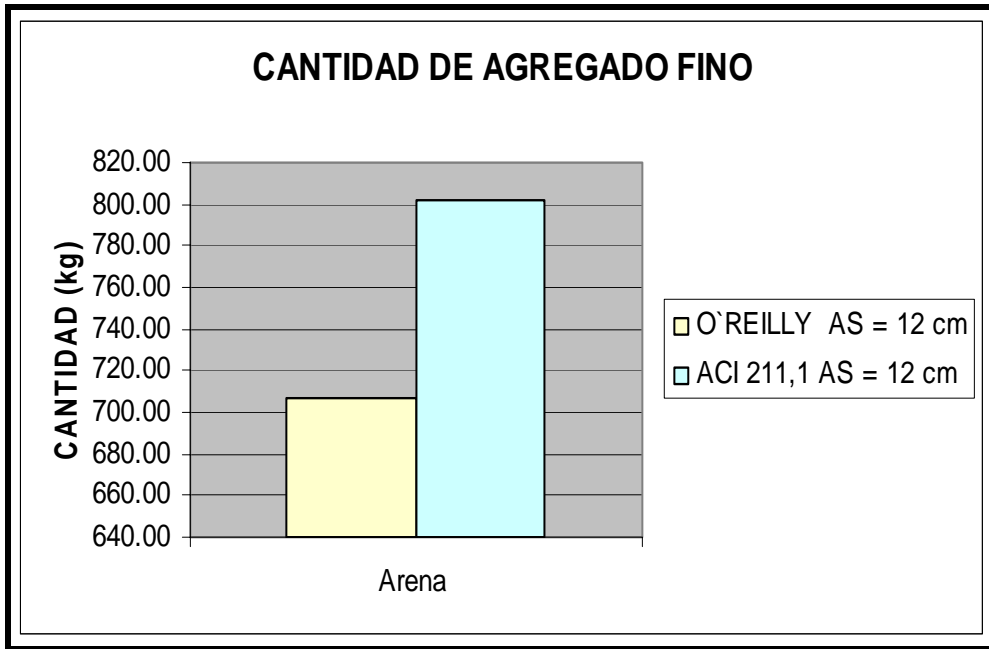
**Figura 17 Composición concreto As<sub>12</sub> (% masa) (MACI)**



**Figura 18 Agregado fino, concretos As8 (% masa)**



**Figura 19 Agregado fino, concretos As12 (% masa)**



**Figura 20 Agregado grueso, concretos As<sub>8</sub>**

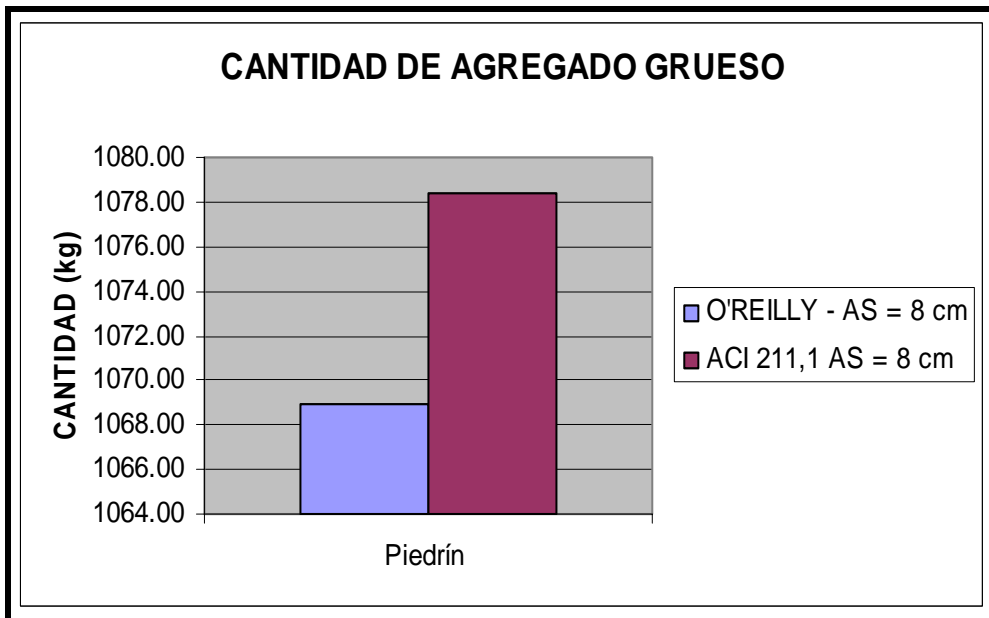


Figura 21 Agregado grueso, concretos As<sub>12</sub>

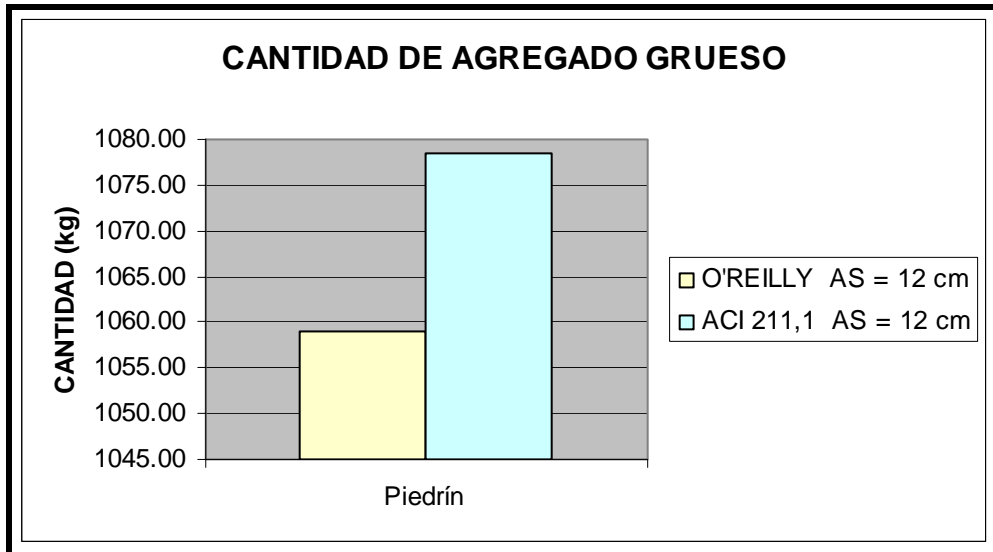
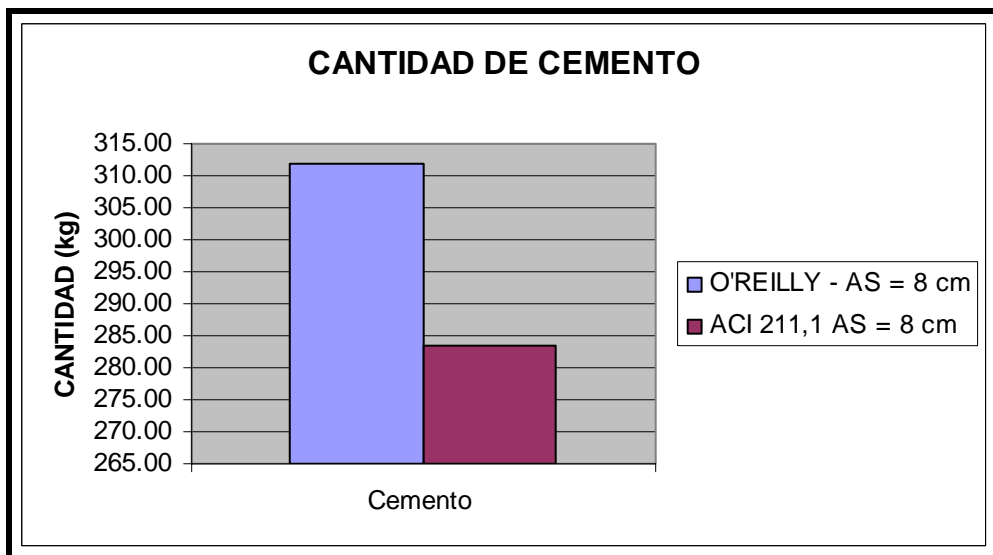
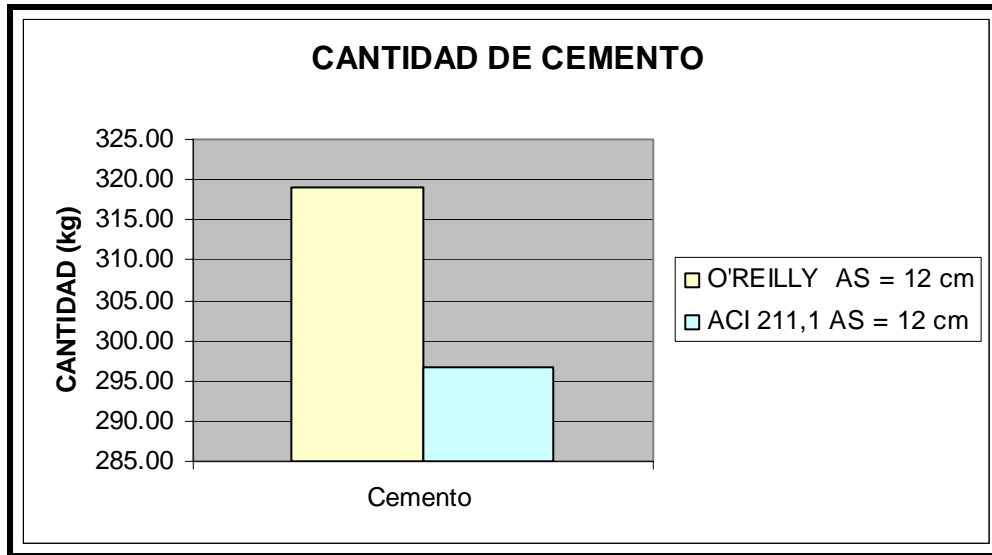


Figura 22 Cemento utilizado, concretos As<sub>8</sub>



**Figura 23** Cemento utilizado, concretos As<sub>12</sub>



**4.1.3.2. Estado fresco**

**Tabla XVII** Resultados concretos estado fresco, (MVO)

Resultados		
Método	Asentamiento 8 cm	Asentamiento 12 cm
Dr. Vitervo O'Reilly	Masa unitaria (kg/cm <sup>3</sup> ) 2260.7	Masa unitaria (kg/cm <sup>3</sup> ) 2279.2
	Contenido de aire (%) 1.3	Contenido de aire (%) 1.1
	Temperatura concreto (°C) 23.0	Temperatura concreto (°C) 23.0
	Temperatura ambiente (°C) 24.0	Temperatura ambiente (°C) 24.0
	Agua total (L) 15.68	Agua total (L) 16.12
	Relación a-c (%) 0.66	Relación a-c (%) 0.67

**Tabla XVIII Resultados concretos estado fresco, (MACI)**

Resultados concreto		
Método	Asentamiento 8 cm	Asentamiento 12 cm
ACI (211.1)	Masa unitaria (kg/cm <sup>3</sup> ) 2250.6	Masa unitaria (kg/cm <sup>3</sup> ) 2256.4
	Contenido de aire (%) 0.9	Contenido de aire (%) 0.9
	Temperatura concreto (°C) 22.0	Temperatura concreto (°C) 22.0
	Temperatura ambiente (°C) 23.0	Temperatura ambiente (°C) 23.0
	Agua total (L) 21.33	Agua total (L) 21.50
	Relación a-c (%) 0.74	Relación a-c (%) 0.75

**4.1.3.3. Estado endurecido**

**4.1.3.3.1. Resistencia a compresión**

**Tabla XIX Resultados resistencia a compresión**

Resistencia a compresión MPa (kg/cm <sup>2</sup> )					
Método	Asentamiento	Edad (días)			
		1	3	7	28
Dr. Vitervo O'Reilly	8 cm	6.4 (65.2)	15.7 (160.4)	19.7 (201.1)	30.1 (306.7)
	12 cm	5.5 (56.3)	15.0 (152.6)	19.2 (196.2)	29.3 (298.7)
ACI (211.1)	8 cm	6.0 (61.2)	12.0 (122.3)	16.3 (165.4)	25.4 (258.7)
	12 cm	7.5 (77.0)	14.3 (146.0)	18.9 (192.6)	27.2 (277.5)

#### 4.1.3.3.2. Resistencia a flexión

Tabla XX Resultados resistencia a flexión

Módulo de ruptura MPa (kg/cm <sup>2</sup> )			
Método	Asentamiento (cm)	Edad (días)	
		7	28
Dr. Vitervo	8	3.1 (31.4)	3.4 (35.1)
O'Reilly	12	2.8 (28.4)	3.4 (35.1)
ACI (211.1)	8	2.8 (28.7)	3.5 (35.2)
	12	2.8 (28.6)	3.6 (36.3)

#### 4.2. Integración de costos concretos (1 m<sup>3</sup>)

\*\* Los costos de los ensayos necesarios para aplicar los métodos evaluados están basados en el arancel del laboratorio de agregados, cementos y concreto del Centro Tecnológico de la Empresa Cementos Progreso. (ver tablas XXI, XXII, XXIII, XXIV y XXV)

##### 4.2.1. Control de calidad materiales



**Tabla XXI Integración de costos (1 m<sup>3</sup>), control de calidad materiales**

Costos control de calidad materiales (Q)								
Cemento Portland tipo I			Agregado Fino			Agregado Grueso		
Ensayo	**Costo		Ensayo	**Costo		Ensayo	**Costo	
	(MVO)	(MACI)		(MVO)	(MACI)		(MVO)	(MACI)
Densidad (ASTM C-188)	140.00	-	Muestreo de agregados y Reducción de muestra (ASTM D-75, D-702)	70.00	70.00	Muestreo de agregados y Reducción de muestra (ASTM D-75, D-702)	70.00	70.00
Resistencia a compresión (ASTM C-109)	120.00	-	Granulometría (ASTM C-136)	120.00	120.00	Granulometría (ASTM C-136)	120.00	120.00
Fineza tamiz 325 (ASTM C- 430)	140.00	-	Absorción y Peso específico (ASTM C-128)	140.00	140.00	Absorción y Peso específico (ASTM C-128)	140.00	140.00
			Masa unitaria suelta y compactada, % vacíos (ASTM C-29)	140.00	140.00	Masa unitaria suelta y compactada, % vacíos (ASTM C-29)	140.00	140.00
			Contenido de humedad % (ASTM C-576)	160.00	160.00	Contenido de humedad % (ASTM C-576)	160.00	160.00

Continúa								
			<b>Material pasa tamiz 200 % (ASTM C-117)</b>	<b>120.00</b>	<b>120.00</b>	<b>Material pasa tamiz 200 % (ASTM C-117)</b>	<b>120.00</b>	<b>120.00</b>
			<b>Determinación combinación optima agregado grueso y fino, por medio de la evaluación de masa unitaria compactada y suelta a 5 muestras (determinación % de vacios)</b>	<b>700.00</b>		<b>Partículas planas y alargadas (ASTM D- 4791)</b>	<b>240.00</b>	<b>-</b>
						<b>Reactividad potencial álcali-sílice (ASTM C- 289)</b>	<b>140.00</b>	<b>140.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>400.00</b>	<b>0.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1450.00</b>	<b>750.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1130.00</b>	<b>890.00</b>

**Tabla XXII Costos (1 m3), control de calidad materiales**

<b>Costo total (1m3), control de calidad materiales</b>		
<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Dr. Vitervo O'Reilly</b>	<b>ACI 211,1</b>
<b>8</b>	<b>Q 2890.00</b>	<b>Q 1640.00</b>
<b>12</b>	<b>Q 2890.00</b>	<b>Q 1640.00</b>

#### 4.2.2. Control de calidad concretos

**Tabla XXIII Integración de costos (1 m3), control de calidad concretos**

Costos control de calidad concreto (Q)					
Dr. Vitervo O'Reilly			ACI (211.1)		
Ensayo		**Costo	Ensayo		**Costo
Diseño teórico	Elaboración concreto	1070.00		-	-
	Muestreo				
	Asentamiento				
	Masa unitaria				
	Temperatura				
	Ensayo a compresión 7 y 28 días				
Diseño práctico	Elaboración concreto	1570.00	Diseño práctico	Elaboración concreto	1570.00
	Muestreo			Muestreo, compresión y flexión	
	Asentamiento			Asentamiento	
	Masa unitaria			Masa unitaria	
	Temperatura			Temperatura	
	Ensayo a compresión 1, 3, 7 y 28 días			Ensayo a compresión 1, 3, 7 y 28 días	
	Ensayo a flexión 7 y 28 días			Ensayo a flexión 7 y 28 días	
Ensayo a compresión (4 cilindros)		240.00	Ensayo a compresión (4 cilindros)		240.00
Ensayo a flexión (2 vigas)		120.00	Ensayo a flexión (2 vigas)		120.00
TOTAL		Q 3000.00	TOTAL		Q 1930.00

### 4.2.3. Costos materiales

**Tabla XXIV Integración de costos materiales (1 m3), As<sub>8</sub>**

Costos materiales (Q)																	
Cemento Portland tipo I						Agregado fino						Agregado grueso					
Dr. Vitervo O'Reilly			ACI (211.1)			Dr. Vitervo O'Reilly			ACI (211.1)			Dr. Vitervo O'Reilly			ACI (211.1)		
Cantidad (sacos)	Costo U. (Q)	Total (Q)	Cantidad (sacos)	Costo U. (Q)	Total (Q)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo U. (Q)	Total (Q)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo U. (Q)	Total (Q)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo U. (Q)	Total (Q)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo U. (Q)	Total (Q)
7.3	54.00	396.42	6.67	54.00	360.30	0.54	70.00	38.00	0.63	70.00	44.00	0.73	Q160.00	116.01	0.73	160.00	117.04

**Tabla XXV Integración de costos materiales (1 m<sup>3</sup>), As<sub>12</sub>**

<b>Costo materiales (Q)</b>																	
<b>Cemento Portland tipo I</b>						<b>Agregado fino</b>						<b>Agregado grueso</b>					
<b>Dr. Vitervo O'Reilly</b>			<b>ACI (211.1)</b>			<b>Dr. Vitervo O'Reilly</b>			<b>ACI (211.1)</b>			<b>Dr. Vitervo O'Reilly</b>			<b>ACI (211.1)</b>		
<b>Cantidad (sacos)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total (Q)</b>	<b>Cantidad (sacos)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total (Q)</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total (Q)</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total (Q)</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total (Q)</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo U. (Q)</b>	<b>Total</b>
7.51	54.0	405.32	6.98	54.0	376.92	0.54	70.0	37.66	0.61	70.0	42.79	0.72	160.0	114.94	0.73	160.0	117.04

**Tabla XXVI Costos materiales (1 m<sup>3</sup>), concretos elaborados**

<b>Costo total (1m<sup>3</sup>), concretos elaborados</b>		
<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Dr. Vitervo O'Reilly</b>	<b>ACI 211,1</b>
8	Q550.43	Q521.30
12	Q557.92	Q536.75



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Componentes

#### 5.1.1. Cemento

Los resultados obtenidos cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C-150, por lo que el uso de este material es adecuado para los propósitos del estudio. (ver apéndice 1)

#### 5.1.2. Agregados

Los agregados cumplen con las especificaciones de las normas ASTM aplicables. El método del Dr. Vitervo O'Reilly se recomienda para agregados que no cumplan con las especificaciones de tamaño y forma, los agregados utilizados si cumplen los requerimientos de forma y tamaño lo cual pudo afectar los resultados obtenidos en el (MVO). (ver apéndice 2)

#### 5.1.3. Concretos

##### 5.1.3.1. Diseño

Para el diseño se consideró una resistencia a compresión de  $210.0 \text{ kg/cm}^2$  y asentamientos de 8 y 12 cm. para los dos métodos. El costo/ $\text{m}^3$  de los concretos (materiales, control de calidad materiales y concretos) es mayor en el (MVO) para los dos asentamientos en relación al (MACI), con diferencias de Q 3649.13 ( $A_{S8}$ ) y Q 2341.17 ( $A_{S12}$ ). Los concretos fueron elaborados en concretera mecánica, bajo las mismas condiciones. (ver tablas XXII, XXIII, XXIV, XXV y XXVI)

- Proporciones

Para los asentamientos y resistencia a compresión considerados, las mezclas **(MVO)** tienen mayor cantidad de cemento que las **(MACI)**, así mismo requieren menor cantidad de agregados, las cantidades de agua son variables en los dos asentamientos, para el mismo volumen de fundición. Contenido de cemento mayor significa mayor costo, pero mejor resistencia (menor sección estructural, menor volumen de concreto), mayor contenido de agregado grueso significa concreto más barato por ser este el componente más económico y menor contenido de agregado fino significa menor costo por ser más caro que el agregado grueso. (ver tabla XII y figuras No.12, 13, 16 y 17)

- Relación agua-cemento

En los concretos evaluados el  $As_8$  requirió menos agua que el  $As_{12}$ , para los asentamientos considerados las relaciones a-c del **(MVO)** son menores que las del **(MACI)**, contenido de agua mayor significa mejor trabajabilidad pero menor resistencia. (ver tabla XII)

#### 5.1.3.2. Estado fresco

- Masa unitaria

En el resultado de masa unitaria, para ambos métodos el  $As_{12}$  tiene valores mayores que el  $As_8$ , el **(MVO)** tiene resultados más altos que el **(MACI)**, este parámetro tiene que ver con el costo y durabilidad del concreto al ser más denso y menos poroso, pero mayor valor de cargas muertas en el diseño, significan secciones mayores en el diseño. (ver tablas XVII y XVIII)

- Contenido de aire

Para los concretos evaluados los resultados del **(MVO)** son mayores que los del **(MACI)**, siendo la diferencia mayor para el  $As_8$  (0.3 %). El contenido de aire tiene que ver con la porosidad y durabilidad del concreto, así como con su valor de densidad. (ver tablas XVII y XVIII)

- Temperatura del concreto



La diferencia fue 1°C entre los concretos evaluados para los dos asentamientos, no tiene mayor relevancia dentro del análisis de resultados. (ver tablas XVII y XVIII)

### 5.1.3.3. Estado endurecido

- Resistencia a compresión

Los resultados de la resistencia a compresión para los concretos y asentamientos evaluados, muestran un incremento con respecto a la edad normal; el **(MVO)** presenta valores más altos para los dos asentamientos en todas las edades que el **(MACI)**, menos el valor a 1 día del  $As_{12}$  que es lo contrario. En general los concretos **(MVO)** tienen un desarrollo de resistencia mayor respecto a la edad, debido a la mayor cantidad de cemento que se usó en las mezclas, aunque esto significa costos mayores. Para los dos métodos se alcanzó el valor de diseño a los 28 días ( $f'c = 210.0 \text{ kg/cm}^2$ ). (ver tabla XIX)

- Resistencia a flexión

Los resultados de la resistencia a flexión para los dos concretos, muestran un incremento con respecto a la edad normal; para la edad de 7 días el **(MVO)** presenta valores más altos, en las otras edades es el **(MACI)** quién tiene los mayores. (ver tabla XX)

## 5.2. Integración de costos (1m3)

### 5.2.1. Control de calidad materiales

Como se puede ver en metodología utilizada el **(MVO)** requiere de un análisis con mayor detalle para los agregados y cemento utilizados, se evaluaron las dos alternativas para medir la característica “A” del agregado grueso lo que incrementa sus costos en este renglón, el **(MACI)** requiere los ensayos tradicionales para control de calidad de los agregados, por esta razón se recomienda el **(MVO)** para aquellos proyectos que por sus características tengan que utilizar agregado grueso con características de forma y tamaño fuera de norma. La diferencia entre el **(MVO)** y el **(MACI)** es de Q 1250.00. (ver tabla XXII)

### **5.2.2. Control de calidad concretos**

Es el mismo para los dos métodos, aunque hay que considerar que el **(MVO)** requiere un diseño teórico para la mezcla de prueba cuando se calcula la característica “A” del agregado grueso por el método práctico, lo que incrementa el costo en este renglón. La diferencia entre el **(MVO)** y el **(MACI)** es de Q 1070.00 es esencial realizar control de calidad al concreto si queremos lograr las características deseadas en el diseño. (ver tabla XXIII)

### **5.2.3. Costo de materiales**

El costo/m<sup>3</sup> total de los materiales es mayor en el **(MVO)** que en el **(MACI)** para los dos asentamientos, As<sub>8</sub> (Q 550.43 y Q 521.30 con diferencia de 29.13) y As<sub>12</sub> (Q 557.92 y Q 536.75 con diferencia de Q 21.17), siendo el cemento y el agregado fino los que más influyen en este renglón. Como se puede ver en los resultados el **(MVO)** tiene las resistencias mas altas, al reducir la cantidad de cemento se reducirían los costos de materiales para este método. (ver tabla XXVI)

## CONCLUSIONES

1. El método **(MVO)** se recomienda para agregados con tamaño y forma fuera de especificaciones, el agregado grueso utilizado en el estudio estaba dentro de los límites para estos parámetros, lo que afectó la metodología evaluada y los resultados del estudio.
2. La forma, tamaño y textura de los agregados son importantes en el desempeño de mezclas de concreto, por lo que deben de evaluarse estas características e involucrarlas en diseño.
3. Los concretos elaborados con el método de diseño **(MVO)** tienen costos totales mayores que el **(MACI)**.
4. Para aplicar el **(MVO)** se necesita de mayor tiempo para caracterizar al agregado grueso, por lo que debe considerarse esta condición al momento de aplicar el método.
5. Los métodos de diseño de mezclas de concreto evaluados - $f_c$  y asentamientos iguales-, requieren diferentes cantidades de cemento y agua, éstas influyen en sus resultados de resistencia mecánica.
6. El **(MVO)** utiliza menor cantidad de agregados grueso y fino que el **(MACI)**.
7. El requerimiento de cemento en las mezclas evaluadas es mayor en el **(MVO)** que el del **(MACI)**, pero los resultados de resistencia mecánica son mayores.

8. Las mezclas (**MVO**) tienen valores de masa unitaria mayores que el (**MACI**), para los dos asentamientos, lo que representa valores de carga muerta y secciones de elementos mayores, puede elevar el costo del proyecto.
9. Los concretos elaborados cumplen con el  $f^c$  de diseño -28 días- para los dos asentamientos evaluados.
10. Los resultados de resistencia mecánica son mayores en el (**MVO**), para los dos asentamientos evaluados.

## RECOMENDACIONES

1. Al realizar trabajos de laboratorio, elaborar las mezclas de concreto de preferencia de manera mecánica, ya que este influye en la calidad del concreto, se deben de cumplir las especificaciones de las normas técnicas utilizadas.
2. Realizar el muestreo y reducción de la muestra de los agregados de acuerdo a las normas aplicables, a efecto de conseguir muestras representativas.
3. Realizar un estudio similar a este, utilizando agregado grueso que presente características de forma y tamaño fuera de especificaciones, para calificar de mejor forma al **(MVO)**.
4. Impulsar el uso de los criterios de forma, tamaño y textura de los agregados dentro de los diseños de mezclas de concreto.
5. Dar a conocer a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, otros métodos de diseño de mezclas de concretos.
6. Impulsar el control de calidad y uso de normas técnicas, a diseñadores, constructores y usuarios del concreto.



## REFERENCIAS

1. Ortega Calderón, Mauro. Evaluación de concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Portland y Escoria). Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.
2. Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.
3. **INFORMACIONES TÉCNICAS TECNOLOGÍA I - T - 11**,  
desherba@yahoo.com
4. Sánchez de Guzmán Diego, **Morteros. Tecnología del mortero y del concreto**  
Bhandar Editores Ltda. Bogotá Colombia
5. American society for testing and material, Section 4 Vol. 4.05. Pág. 191 **ASTM C-270 “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry”**
6. Kenneth A. Molina E. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de hornos. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
7. Nilson, Arthur H. **Diseño de Estructuras de concreto** duodécima edición,  
Colombia: editorial McGraw Hill, 1995, Pág. 28
8. Instituto de Ingeniería, Comisión Federal de Electricidad. **Manual de tecnología del concreto**. México LIMUSA Pág. 56





## BIBLIOGRAFÍA

1. Sánchez de Guzmán, **Morteros. Tecnología del mortero y del concreto** (Bhandar Editores Ltda., Bogotá Colombia)
2. American society for testing and material, Section 4 Vol. 4.05. Pág. 191 **ASTM C-270 “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry”**
3. Kenneth A. Molina E. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de hornos. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
4. Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.
5. **INFORMACIONES TÉCNICAS TECNOLOGÍA I – T – 11, desherba@yahoo.com**



**Apéndice 1**  
**Caracterización cemento tipo 5000 psi**



2007-10-29 Departamento: CETEC

E-mail: cetec@cempro.com

Laboratorio Central

### Centro Tecnológico

15 Avenida 18-01, zona 6 La Pedrera

Tel: 22864178 Fax: 22864181



Visualización de Muestras

Cemento 5000

Preliminar Noviembre 2006

Datos de Muestra		Reporte de Ensayos Fisicos										Ensayo de Cubos ASTM C-109								
Codigo	Description	FechaToma	Fin. I - 425	S-Blaine	C.N.	H2O	V.I.	V.F.	Flow	H2O	E.A.	R.I.	psi 1d	N/mm <sup>2</sup> 1d	psi 3d	N/mm <sup>2</sup> 3d	psi 7d	N/mm <sup>2</sup> 7d	psi 28d	N/mm <sup>2</sup> 28d
1	1-02 LP 44	2006-11-04	84.49	5.309	9	27.2	100	200	108	49.4	0.02	10.34	2,739	19	4,270	29	5,085	35	5,916	41




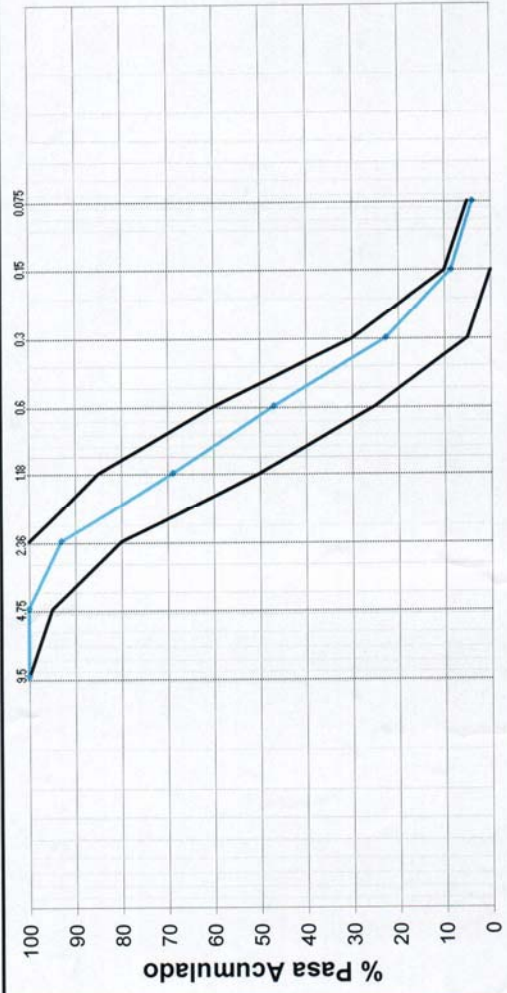
Análisis Químicos en Cemento	
Codigo	FechaToma
1	2006-11-04

2007-10-29

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

Pág. 1 / 1

**Apéndice 2**  
**Caracterización de agregados**

		<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181																														
<b>AGREGADO FINO NATURAL</b> Granulometría ASTM C-33		CLIENTE: ELMER YOC	 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio																													
<b>OT:</b>		CONTACTO: ELMER YOC MUESTRA: ARENA PROCEDENCIA: PROHINSA	<b>INFORME</b>																													
Fecha: - Laboratorio: AGREGADOS EY Analista: - Fecha Ensayo: MDL Supervisor: MDL Fecha impresión ELMER YOC 2007-10-22																																
<b>COMPLETO DEL PIEDRIN DE 1" CURSA</b>		<table border="1"> <tr> <td>TAMIZ (")</td> <td>3/8</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>16</td> <td>30</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>TAMIZ (mm)</td> <td></td> <td>4.75</td> <td>2.36</td> <td>1.18</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>0.15</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>% Que Pasa</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> <td>92.9</td> <td>68.7</td> <td>46.9</td> <td>22.6</td> <td>8.4</td> <td>3.8</td> </tr> </table>				TAMIZ (")	3/8	4	8	16	30	50	100	200	TAMIZ (mm)		4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	% Que Pasa	100.0	100.0	92.9	68.7	46.9	22.6	8.4	3.8
TAMIZ (")	3/8	4	8	16	30	50	100	200																								
TAMIZ (mm)		4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075																								
% Que Pasa	100.0	100.0	92.9	68.7	46.9	22.6	8.4	3.8																								
Densidad Relativa I Ene-05 2.53 Absorción (%) - 6.57 Materia Orgánica (<AGREGADOS 3.8 Pasa Tamiz 0.075m EY 2.60 Módulo de Finura (- 6.43 Módulo de Hudson MDL 1,411 Masa Unitaria Compactada (kg/m³) 1,313 Masa Unitaria Suelta (kg/m³) Masa Unitaria Suelta Humeda (kg/m³) Pérdida Sulfato Sodio (%) Humedad (%)		OBSERVACIONES:																														
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC. Tecnología y Ensayos de Cementos y Concretos.																																







### **Apéndice 3**

## **Resistencia a compresión y flexión de especímenes**



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181



**INFORME CILINDROS  
RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO**

Cliente:	ELMER YOC	OT:	8505-4	Fecha impresión:	2007-10-24
Contacto:	ELMER YOC	Fecha:	-		
Proyecto:	TESIS METODO O'REILLY	Laboratorio:	CONCRETO		
		Analista:	EY		
		Supervisor:	MDL	Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	

**DATOS TOMA DE CILINDROS (ASTM C-192)**

CILINDRO No.		TOMA DE CILINDROS			ASENT.	AIRE	MASA UNIT.	CLASE	LOCALIZACION
OBRA	LAB.	POR	FECHA	LUGAR	mm	%	kg/m <sup>3</sup>	CONCRETO	ESTRUCTURA
8505-176	1	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-177	2	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-178	3	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-179	4	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-180	5	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-181	6	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-182	7	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-
8505-183	8	CLIENTE	2007-09-06	PROYECTO	80.01	1.3	2260.7	5000	-

**ENSAYO DE CILINDROS (ASTM C-39)**

CILINDRO No.		FECHA	EDAD	MASA	AREA	RESISTENCIA		RANGO	TIPO DE
OBRA	LAB.	RUPTURA	DIAS	kg	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		FALLA
8505-176	1	2007-09-07	1	12.275	17638.53	6.15	892	-	1
8505-177	2	2007-09-07	1	12.195	17489.37	6.63	961	-	1
8505-178	3	2007-09-09	3	12.315	17638.53	15.59	2,260	-	1
8505-179	4	2007-09-09	3	12.165	17490.54	15.88	2,303	-	1
8505-180	5	2007-09-13	7	12.730	18302.37	20.33	2,948	-	1
8505-181	6	2007-09-13	7	12.715	18241.51	19.08	2,767	-	1
8505-182	7	2007-10-04	28	12.935	18669.63	30.21	4,382	-	1
8505-183	8	2007-10-04	28	13.080	18393.84	29.95	4,344	-	1

Observaciones:



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



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181



**INFORME CILINDROS  
RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO**

Cliente:	ELMER YOC	OT:	8505-5	Fecha impresión:	2007-10-24
Contacto:	ELMER YOC	Fecha:	-		
Proyecto:	TESIS METODO O'REILLY	Laboratorio:	CONCRETO		
		Analista:	EY		
		Supervisor:	MDL	Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	

**DATOS TOMA DE CILINDROS (ASTM C-192)**

CILINDRO No.		TOMA DE CILINDROS			ASENT. mm	AIRE %	MASA UNIT. kg/m <sup>3</sup>	CLASE CONCRETO	LOCALIZACION ESTRUCTURA
OBRA	LAB.	POR	FECHA	LUGAR					
8505-184	1	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-185	2	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-186	3	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-187	4	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-188	5	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-189	6	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-190	7	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-
8505-191	8	CLIENTE	2007-09-07	PROYECTO	119.89	1.1	2279.2	5000	-

**ENSAYO DE CILINDROS (ASTM C-39)**

CILINDRO No.		FECHA	EDAD	MASA	AREA	RESISTENCIA		RANGO	TIPO DE FALLA
OBRA	LAB.	RUPTURA	DIAS	kg	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		
8505-184	1	2007-09-08	1	12.700	18271.93	5.47	793	-	1
8505-185	2	2007-09-08	1	12.985	18608.17	5.56	806	-	1
8505-186	3	2007-09-10	3	12.845	18395.04	15.11	2,191	-	1
8505-187	4	2007-09-10	3	12.660	18091.01	14.83	2,150	-	1
8505-188	5	2007-09-14	7	12.950	18700.40	19.61	2,845	-	1
8505-189	6	2007-09-14	7	12.335	17640.88	18.86	2,735	-	1
8505-190	7	2007-10-05	28	12.925	18393.84	29.59	4,291	-	1
8505-191	8	2007-10-05	28	12.795	18302.37	28.98	4,203	-	1

**Observaciones:** \_\_\_\_\_



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





## Laboratorio Central Centro Tecnológico

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181



### INFORME CILINDROS RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

Cliente: <u>ELMER YOC</u>	OT: <u>8505-1</u>	Fecha impresión: <u>2007-10-24</u>
Contacto: <u>ELMER YOC</u>	Fecha: <u>-</u>	
Proyecto: <u>TESIS METODO ACI</u>	Laboratorio: <u>CONCRETO</u>	
	Analista: <u>EY</u>	
	Supervisor: <u>MDL</u>	<b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio

#### DATOS TOMA DE CILINDROS (ASTM C-192)

CILINDRO No.		TOMA DE CILINDROS			ASENT.	AIRE	MASA UNIT.	CLASE	LOCALIZACION
OBRA	LAB.	POR	FECHA	LUGAR	mm	%	kg/m <sup>3</sup>	CONCRETO	ESTRUCTURA
8505-121	1	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-122	2	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-123	3	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-124	4	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-125	5	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-126	6	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-127	7	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-128	8	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-129	9	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-130	10	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-131	11	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-
8505-132	12	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	119.89	0.9	2256.4	5000	-

#### ENSAYO DE CILINDROS (ASTM C-39)









CILINDRO No.		FECHA	EDAD	MASA	AREA	RESISTENCIA		RANGO	TIPO DE
OBRA	LAB.	RUPTURA	DIAS	kg	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		FALLA
8505-121	1	2007-08-23	1	12.260	17638.53	7.99	1,159	-	1
8505-122	2	2007-08-23	1	12.640	18211.12	7.08	1,027	-	1
8505-123	3	2007-08-23	1	12.825	18393.84	7.55	1,095	-	1
8505-124	4	2007-08-25	3	12.895	18424.38	14.32	2,077	-	1
8505-125	5	2007-08-25	3	12.245	17519.15	13.76	1,996	-	1
8505-126	6	2007-08-25	3	12.670	18120.10	14.91	2,162	-	1
8505-127	7	2007-08-29	7	12.715	18241.51	19.24	2,791	-	1
8505-128	8	2007-08-29	7	12.190	17519.15	18.93	2,745	-	1
8505-129	9	2007-08-29	7	12.300	17519.15	18.51	2,684	-	1
8505-130	10	2007-09-19	28	12.985	18424.38	27.00	3,916	-	1
8505-131	11	2007-09-19	28	12.855	18302.37	27.17	3,941	-	1
8505-132	12	2007-09-19	28	12.885	18577.47	27.55	3,996	-	1

**Observaciones:** \_\_\_\_\_



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

Tecnología y Ensayos de Cementos y Concretos.

	<b>Laboratorio Central Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181								
	<b>INFORME CILINDROS</b> <b>RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO</b>								
Cliente: <u>ELMER YOC</u> Contacto: <u>ELMER YOC</u> Proyecto: <u>TESIS METODO O'REILLY</u>	OT: <u>8505-2</u> Fecha: <u>-</u> Laboratorio: <u>CONCRETO</u> Analista: <u>EY</u> Supervisor: <u>MDL</u>	Fecha impresión: <u>2007-10-24</u>  <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio							
<b>DATOS TOMA DE CILINDROS (ASTM C-192)</b>									
CILINDRO No.		TOMA DE CILINDROS			ASENT. mm	AIRE %	MASA UNIT. kg/m <sup>3</sup>	CLASE CONCRETO	LOCALIZACION ESTRUCTURA
OBRA	LAB.	POR	FECHA	LUGAR					
8505-133	1	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-134	2	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-135	3	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-136	4	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-137	5	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-138	6	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-139	7	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-140	8	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-141	9	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-142	10	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-143	11	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
8505-144	12	CLIENTE	2007-08-22	PROYECTO	80.01	0.9	2250.6	5000	-
<b>ENSAYO DE CILINDROS (ASTM C-39)</b>									
CILINDRO No.		FECHA RUPTURA	EDAD DIAS	MASA kg	AREA mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA		RANGO	TIPO DE FALLA
OBRA	LAB.					N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		
8505-133	1	2007-08-23	1	12.070	17788.32	5.92	859	-	1
8505-134	2	2007-08-23	1	12.090	17519.15	6.12	888	-	1
8505-135	3	2007-08-23	1	12.715	18424.38	5.98	868	-	1
8505-136	4	2007-08-25	3	12.220	17519.15	11.57	1,678	-	1
8505-137	5	2007-08-25	3	12.790	18393.84	12.23	1,774	-	1
8505-138	6	2007-08-25	3	12.710	18241.51	12.17	1,765	-	1
8505-139	7	2007-08-29	7	12.165	17668.44	16.19	2,348	-	1
8505-140	8	2007-08-29	7	12.675	18211.12	15.87	2,302	-	1
8505-141	9	2007-08-29	7	12.710	18241.51	16.69	2,421	-	1
8505-142	10	2007-09-19	28	12.700	17668.44	25.40	3,684	-	1
8505-143	11	2007-09-19	28	12.310	17668.44	25.27	3,665	-	1
8505-144	12	2007-09-19	28	12.175	17668.44	25.50	3,699	-	1
<b>Observaciones:</b> _____ _____ _____					<b>TIPOS DE FALLA</b>     				
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. <b>No</b> debe reproducirse éste Informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC. <small>Tecnología y Ensayos de Cementos y Concretos.</small>									





**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**  
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181



**INFORME CILINDROS  
RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO**

Cliente:	ELMER YOC	OT:	8505-3	Fecha impresión:	2007-10-24
Contacto:	ELMER YOC	Fecha:	-		
Proyecto:	TESIS METODO O'REILLY, CARACTERISTICA "A"	Laboratorio:	CONCRETO		
		Analista:	EY		
		Supervisor:	MDL	Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	

**DATOS TOMA DE CILINDROS (ASTM C-192)**

CILINDRO No.		TOMA DE CILINDROS			ASENT. mm	AIRE %	MASA UNIT. kg/m <sup>3</sup>	CLASE CONCRETO	LOCALIZACION ESTRUCTURA
OBRA	LAB.	POR	FECHA	LUGAR					
8505-168	1	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-169	2	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-170	3	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-171	4	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-172	5	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-173	6	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-174	7	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-
8505-175	8	CLIENTE	2007-09-05	PROYECTO	119.89	-	-	5000	-

**ENSAYO DE CILINDROS (ASTM C-39)**

CILINDRO No.		FECHA RUPTURA	EDAD DIAS	MASA kg	AREA mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA		RANGO	TIPO DE FALLA
OBRA	LAB.					N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		
8505-168	1	2007-09-12	7	12.900	18211.12	21.76	3,156	-	1
8505-169	2	2007-09-12	7	12.790	18120.10	20.73	3,006	-	1
8505-170	3	2007-10-03	28	12.340	17638.53	30.82	4,471	-	1
8505-171	4	2007-10-03	28	12.805	18241.51	31.35	4,547	-	1
8505-172	5	2007-09-12	7	12.990	18669.63	22.27	3,230	-	1
8505-173	6	2007-09-12	7	13.110	18700.40	23.42	3,396	-	1
8505-174	7	2007-10-03	28	13.040	18424.38	32.44	4,705	-	1
8505-175	8	2007-10-03	28	12.940	18546.80	33.09	4,800	-	1

Observaciones: \_\_\_\_\_



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

**Apéndice 4**  
**Característica “A”**  
**Método físico-matemático**

Tipo árido:		Grava de 25.4 mm										Cantera:		Cursa		Posición: 1A		
GRANO No.	R	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	Σri	n + 1	de	De	Φ	P	
		r11	r12	r14	r14	r15	r16	r17	r18	r19	r20							
1	11	4.5	2.25	4	6	9	0	0	0	0		26	6	23	26	0.8846	0.5754	
2	7.5	3	4	5	3	2	2.5					20	7	18	22	0.8182	0.5143	
3	7	3.5	4	2	2.25	2.5	2.25	2.25	2			21	9	18	23	0.7826	0.4405	
4	10	7	4	2.25	1.75	2.5	6	2.25	2.5			28	9	24	29	0.8276	0.4250	
5	7	2.5	3	1.75	2.5	3.5	4	2.25	2	1.25	2.5	25	11	17	23	0.7391	0.4188	
6	7.5	4	2.5	2	3	4						16	6	20	28	0.7143	0.5111	
7	7	3.5	4.5	2.25	2.25	2	3	1	1.75			20	9	14	24	0.5833	0.4325	
8	9.5	1.5	2	5	3	5	2.25					19	7	21	25	0.8400	0.4248	
9	9.5	7	5	4	3.5	3.5	4					27	7	21	24	0.8750	0.5489	
10	9	6.5	2.25	2.5	3.5	3	4.5	2	2.25			27	9	26	34	0.7647	0.4383	
11	11	2.5	2.25	2.25	4	3	3.5	4	4.5	2.5		29	10	28	37	0.7568	0.3591	
12	5.5	3	2.5	2	1.75	3.5						13	6	14	18	0.7778	0.5530	
13	5.5	3.5	1.75	3	5							13	5	14	16	0.8750	0.6818	
14	8.5	4.5	6	2.5	3.5	2.5	2.5	3	2.5			27	9	20	22	0.9091	0.4641	
15	9.5	3.5	4	3	3.5	4	3	3.5	2.25			27	9	21	24	0.8750	0.4240	
16	9.5	3.5	4	6	4.5	2						20	6	22	26	0.8462	0.5175	
17	9	4	3	2.5	2	2	2	2	2	6	2.5	28	11	21	29	0.7241	0.3737	
18	9.5	2	2.25	2	2	2	2	2	3.5	5		23	10	22	26	0.8462	0.3395	
19	5	1.75	1.75	2	2.25	4.5	2	1.5				16	8	14	20	0.7000	0.5188	
20	9	4	3	2.5	3	3.5	3.5	6				26	8	22	28	0.7857	0.4792	
<b>VALORES PROMEDIOS:</b>																<b>0.7963</b>	<b>0.4720</b>	



Tipo árido:		Grava de 25.4 mm										Cantera:		Cursa		Posición: 1B			
GRANO No.	R	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	Σri	n + 1	de	De	Φ	P		
		r11	r12	r13	r14	r15	r16	r17	r18	r19	r20								
1	8,5	3	4,5	5,5	5,5	2	2	2,5	3	3		31	10	20	24	0,8333	0,4647		
2	6,5	2,25	2	1,75	5	2	1,5	1,5				16	8	16	22	0,7273	0,4327		
3	6,5	5,5	2,25	1,75	2,5	4	2	1,5	4	1,25	1,5	26	11	16	22	0,7273	0,4580		
4	10	1,75	3	1,5	3	3,5	1,5	1,5	9,5	1,75	1,75	32	13	23	26	0,8846	0,3212		
5	4,5	1,25	1,5	1,5	1,25	1,75	1,75	2	3	1,25	1,25	21	14	14	20	0,7000	0,4048		
6	6,5	1,5	1,75	1,5	1,75	1,5	6	1,75	1,5			19	9	18	26	0,6923	0,4402		
7	6,5	1,5	1,5	1,75	1,5	3	1,5	1,75	2	2	2,25	21	12	17	22	0,7727	0,3462		
8	7,5	1,75	1,25	1,5	1,25	1,75	1,25	2	4	2,25	3,5	26	13	18	22	0,8182	0,3410		
9	7	1,5	1,25	1,25	1,5	1,5	1,25	1,75	1	1,75	2,25	23	15	18	23	0,7826	0,2881		
10	6,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,75	2,3	2	1,75	22	13	20	30	0,6667	0,3343		
11	6	2	2	1,75	1,5	1,5	2,75	2,5	2,3	3,5	1,5	25	13	20	32	0,6250	0,3942		
12	5	1,5	1,5									21	14	13	18	0,7222	0,3679		
13	4,5	4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	4	2,5		20	10	12	15	0,8000	0,5444		
14	7,5	5	1,5	4,5	4,5	2,5	2	2,5	1,3	2	2	28	11	18	20	0,9000	0,4273		
15	7	1,25	1,25	3	6	1,5	1,75	1,5	3,5	2,25	2,25	28	13	17	22	0,7727	0,3819		
16	7,5	2,25	1,75	1,75	4,5	4,5	3	4,5	7	1,25	1,25	32	11	18	23	0,7826	0,4758		
17	7,5	2,5	2	2	1,75	1,75	2	3	1,5	6	1,75	27	12	20	27	0,7407	0,3861		
18	7	2,5	2	3	3	3,5	3,5	4	2,3	4	2,5	32	12	18	23	0,7826	0,4613		
19	5,5	2,25	2	2	3,5	4	2	2,5	2	1,5	1,5	24	12	14	19	0,7368	0,4508		
20	8,5	4	4,5	3	3	1,75	3	3,5	3	3,5		29	10	19	23	0,8261	0,4441		
<b>VALORES PROMEDIOS:</b>																<b>0,7647</b>	<b>0,4082</b>		

Tipo árido: Grava de 25.4 mm      Cantera: Cursa      Posición: 2A

GRANO No.	R	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	Σri	n + 1	de	De	Φ	P
		r11	r12	r13	r14	r15	r16	r17	r18	r19	r20						
1	9	3	2	1,75	2	3,5	3	3,5	2	3,5	2,5	34	14	22	30	0,7333	0,3413
2	10	4	3,5	3	5,5	5	2,25	4	3	2	4	39	12	25	32	0,7813	0,4104
3	5,5	3	1,75	1,75	2,25	2,5	2,5					14	7	13	18	0,7222	0,5000
4	6	1,5	2	4	3	3	4	2,5	3	1,5		25	10	15	18	0,8333	0,5083
5	6	1,75	1,25	2,25	2,5	2,5	3					13	7	15	18	0,8333	0,4583
6	7	2,25	2	2,25	2	2	2,5	2	2	5,5	2,5	25	11	19	28	0,6786	0,4156
7	7,5	3,5	5	1,75	7	3	3					23	7	17	20	0,8500	0,5857
8	6,5	3,5	4	2	4	2,5						16	6	16	21	0,7619	0,5769
9	6,5	5	4,5	3	4,5	5	3					25	7	16	22	0,7273	0,6923
10	9	7	6	2,5	3	5,5	3	2,5				30	8	20	22	0,9091	0,5347
11	7,5	1,75	1,75	2	1,5	1,5	1,75	2	1,75	1,75	4	22	12	18	22	0,8182	0,3278
12	6,5	1,75	4,5	3,5	1,5	3	2	3				19	8	15	19	0,7895	0,4952
13	6,5	1,75	2	1,25	1,5	1,5	3	2	2	4		19	10	15	17	0,8824	0,3923
14	9	4,5	1,5	3,5	4	3	4	4,5				25	8	20	26	0,7692	0,4722
15	7	1,75	2,5	2,25	2,5	1,5	1,5	2,25	3,5			18	9	17	24	0,7083	0,3929
16	8,5	6	6	1,25	4	2						19	6	18	21	0,8571	0,5441
17	8	1,5	1,5	1,75	3,5	2,5	1	4	2,25	7		25	10	17	21	0,8095	0,4125
18	6,5	3	1,25	1,25	1,25	1	3	1,5	3,5	1,75	1,5	19	11	16	21	0,7619	0,3566
19	6,5	3,5	1,25	1,25	2	5,5	2,5	2,5	2,5	1,75		23	10	17	24	0,7083	0,4500
20	7	3,5	2,5	1,75	2	4	4,5	4	1,75			24	9	16	19	0,8421	0,4921
<b>VALORES PROMEDIOS:</b>																<b>0,7888</b>	<b>0,4680</b>

Tipo		Grava de 25.4 mm										Cantera:		Cursa		Posición: 2B		
GRANO No.	R	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	Σri	n + 1	de	De	Φ	P	
		r11	r12	r13	r14	r15	r16	r17	r18	r19	r20							
1	7	4	2,5	1,75	2,5	1,75	1,3	2,3	2,5	2,5	2,5	24	11	19	25	0,7600	0,3961	
2	7	2,5	3	4,5	1,25	5	1,8	4	1	1,75		25	10	21	29	0,7241	0,4536	
3	5	1,75	3	1,75	1,75	1,5	2,3	1	2,25			15	9	13	17	0,7647	0,4500	
4	6	2,5	3	4,5	2	1,5	2	3				19	8	13	17	0,7647	0,5104	
5	5	1,25	3	1,75	1,25	2	1,8	3,5				15	8	12	18	0,6667	0,4875	
6	4	1,25	1,75	2,25	3,5	2,25	2	1,8	3,5			18	9	15	26	0,5769	0,6181	
7	4,5	2,25	2	1,25	1,5	1,25	1,5	2,3	1,25	1,75	2,5	18	11	13	18	0,7222	0,4444	
8	4,5	1,25	3	2,5	1,25	4	2,3	1,5	2,5			18	9	13	18	0,7222	0,5617	
9	4,5	2,25	4	1,75	1,5	2,25	3	1,3				16	8	13	19	0,6842	0,5694	
10	7,5	3	2	2,25	2,5	4	5	7				26	8	17	23	0,7391	0,5542	
11	4,5	1,25	1,5	3	1,5	2,25	3,5	1,8	1,5	2		18	10	12	18	0,6667	0,5056	
12	3	1,5	1,25	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,75			14	9	10	16	0,6250	0,6296	
13	3	1,25	1,25	2,25	1,25	1,75						8	6	9	13	0,6923	0,5972	
14	5	1,25	2	1,5	1,25	1,25	1,8	2	1,75	3	3	23	13	16	25	0,6400	0,4346	
15	4	2,5	2									18	9	12	18	0,6667	0,5972	
16	4	1,75	2	2,25	3,5	1	1,3	3,5	2,25			18	9	12	18	0,6667	0,5972	
17	7	2	4	3	5	1,75	2	1,5				19	8	16	18	0,8889	0,4688	
18	5,5	3,5	2,25	1,75	3	2,5	3	4	1,75			22	9	15	20	0,7500	0,5505	
19	6	1,25	1,75	2,5	2,5	4	2,5	1,8	1,75	2,25	1,25	22	11	15	19	0,7895	0,4167	
20	4	2,25	2	2,5	1,75	2,5	3,5	2,5	2,5	3,5	2,5	27	12	14	21	0,6667	0,6406	
20	5	1,25										18	9	12	16	0,7500	0,5056	
20	5	1,5	1,75	3	1,5	2,25	2,3	3,5	2			18	9	12	16	0,7500	0,5056	
<b>VALORES PROMEDIOS:</b>																<b>0,7130</b>	<b>0,5196</b>	