



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

**CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS, EN  
EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**

**Francisco Sócrates de la Cruz Hernández**  
Asesorado por el Ing. Herbert René Miranda Barrios

Guatemala, mayo de 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS, EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR:**

**FRANCISCO SOCRATES DE LA CRUZ HERNANDEZ**  
**ASESORADO POR EL ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS**  
**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**GUATEMALA, MAYO DE 2010**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

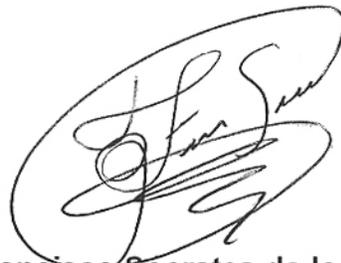
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**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:

**CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS, EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de mayo de 2009.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Francisco Socrates de la Cruz Hernández'.

**Francisco Socrates de la Cruz Hernández**

Guatemala 18 de Marzo del 2010

Ingeniero  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales  
Y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-  
Presente

Estimado Ingeniero Ordóñez

Por medio de la presente me dirijo a usted para desearle éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he asesorado al estudiante FRANCISCO SOCRATES DE LA CRUZ HERNANDEZ en su trabajo de graduación titulado "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA.",

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante de haberlas realizado, apruebo este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posterior aprobación final.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Herbert", is written over a set of vertical lines that form a signature strip. The signature is written in a cursive style.

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
Ingeniero Civil, Colegiado No. 1541



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



Guatemala,  
12 de abril de 2010

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

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco Sócrates de la Cruz Hernández, quien contó con la asesoría del Ing. Herbert René Miranda Barrios.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

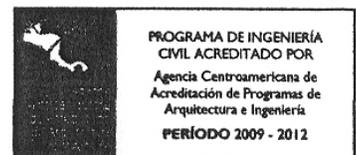
  
José Gabriel Quiñones Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua

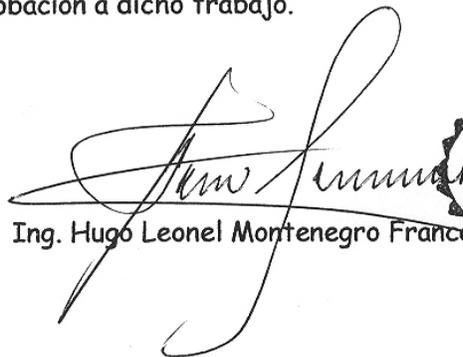




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Herbert René Miranda Barrios y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Francisco Sócrates de la Cruz Hernández, titulado CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.174-2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Sócrates de la Cruz Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, mayo de 2010

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A**

Dios	Por darme otra oportunidad y esta nueva vida llena de bendiciones y de amor. Gracias Señor.
Mis padres	Aura Marina y Josué Samuel, con cariño hacia ellos, por su amor y apoyo incondicional, y a Carlos Roberto de la Cruz, por todo.
Mi esposa	Mayra Elizabeth García Muñoz Por todo el amor y fe depositados en mí.
Mis hermanos	En especial a Nancy, Marcos y Alexander Por todo el cariño y la solidaridad de siempre.
Mis hijas	Jimena Guadalupe, Jaqueline Fernanda y Meyli Adirai, quienes son mi razón de vivir y la bendición más grande que he recibido en mi vida.
Mis abuelos	en especial a Francisca de la Cruz (D.E.P.) quien fuera mi segunda madre.
Mis tíos, primos Y sobrinos	a cada uno con cariño y aprecio.
Mis amigos	Mario, Rafael, Douglas, Montoya, Juan Pablo, Fabián, Miguel Ángel, Carlos Alonzo, Héctor, Alan, Lorena, Rosanely, Leiner, Byron, Ewin, Guillermo, Gerson, Néstor, Marcos, Rufino, Walter, Javier, Manuel, William, Ileana, Jorge Mario, Fernando, Rubén, José, Néstor, Fausto, Renato, Estuardo, Erick, Julio, Nadia, Carlos, Rigoberto, German, Benjamín, Edgar, Maritza, Boris, Denis, Axel, Cesar, Rudy, Gustavo, Eduardo, y a las familias Torres Ramos y García Muñoz.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios Por todas las bendiciones recibidas, a lo largo de mi vida.
- Al pueblo de Guatemala Quienes con grandes sacrificios han mantenido abierta esta noble Casa de Estudios Superiores, pueblo con el que estoy en deuda.
- Mis padres Por su preocupación, esmero y sacrificios para que alcanzara esta meta.
- Mis amigos de la Facultad de Ingeniería, por su valiosa amistad, por acompañarme a lo largo de esta etapa, llena de dificultades, retos y de satisfacciones, muy especialmente a mi amigo y ahora colega Ing. Juan Carlos Miranda.
- Mi asesor Ing. Herbert Rene Miranda Barrios, por su amistad y el valioso tiempo que dedico a asesorar este trabajo de graduación.
- Mis padrinos Inga. Claudia Torres, Dra. Jaqueline Flores y Lic. Juan Francisco Calvillo.
- Los ingenieros Ing. Dilma Mejicanos, Ing. Gabriel Ordóñez, Ing. Julio Roberto Luna Aroche e Ing. Francisco Quiñónez por su amistad, su apoyo y el tiempo dedicado al asesoramiento del presente trabajo.
- Centro de Investigaciones –CII- Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM- Facultad de Ingeniería a las Empresas Sigma Constructores, Agregua-TYRSA “Los Esclavos” y Piedrinera “Las Cañas” , por su valiosa colaboración para la realización de este Trabajo de Graduación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XVII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XXIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXV</b>
<b>1. LOS AGREGADOS</b>	<b>1</b>
1.1 Definición	1
1.2 Clasificación	1
1.3 Agregados minerales naturales	3
1.4 Agregados de peso ligero	3
1.5 Agregados de peso pesado	5
1.6 Agregado de escoria de alto horno	7
1.7 Agregado de ceniza volante	7
1.8 Agregados de concreto reciclado y desperdicios municipales	9
1.9. Producción de agregados	10
1.10. Características del agregado	12
1.10.1. Densidad y densidad aparente	14
1.10.2. Absorción y humedad superficial	15
1.10.3. Resistencia a la trituración, resistencia a la abrasión y módulo de elasticidad	17
1.10.4. Sanidad	18
1.10.5. Tamaño y granulometría	19
1.10.6. Forma y textura de la superficie	20
1.10.7. Sustancias nocivas	22
1.11. Petrografía del concreto y sus materias primas	24

<b>2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES</b>	<b>27</b>
2.1. Localización	27
2.2. Descripción geológica de los bancos	34
<b>3. NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS</b>	<b>37</b>
3.1. Análisis de las propiedades físicas de los agregados	37
3.1.1. Descripción general de la norma ASTM C-33-08	37
3.1.1.1. Agregado fino	38
3.1.1.1.1. Granulometría	38
3.1.1.1.2. Sustancias perjudiciales	40
3.1.1.1.3. Impurezas orgánicas	41
3.1.1.2. Agregado grueso	43
3.1.1.2.1. Granulometría	44
3.1.1.2.2. Sustancias perjudiciales	45
3.1.1.3. Absorción y contenido de humedad, peso Específico y peso unitario	47
3.1.1.3.1. Absorción y contenido de humedad	47
3.1.1.3.2. Peso específico	52
3.1.1.3.3. Peso unitario	54
3.2. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados	58
3.2.1. Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131-06	59
3.2.1.1. Resumen del método	59
3.2.1.2. Muestra de ensayo	60
3.2.1.3. Procedimiento	60
3.3. Análisis de las propiedades petrográficas de los agregados	61
3.3.1. Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295-08	62
3.3.1.1. Usos de los análisis petrográficos	62

3.3.1.2. Selección de las muestras para el examen	63
3.3.1.3. Examen de la grava natural	64
3.3.1.4. Exámenes de la arena natural	65
3.3.1.5. Examen del núcleo de perforación	65
3.3.1.6. Examen de la roca expuesta	66
3.3.1.7. Examen de la roca triturada	66
3.3.1.8. Examen de la arena manufacturada	66
3.3.1.9. Cálculos e informe	67
3.4. Análisis de las propiedades químicas de los agregados	68
3.4.1. Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07	70
3.4.1.1. Aplicación y uso	70
3.4.1.2. Selección y preparación de la muestra	70
3.4.1.3. Procedimiento	71
3.4.1.4. Interpretación de los resultados	72
<b>4. ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	<b>75</b>
4.1. Tabulación y análisis de resultados	75
4.1.1. Resultados de la norma ASTM C-33	76
4.1.1.1. Agregado fino	76
4.1.1.2. Agregado grueso	82
4.1.2. Resultados de la norma ASTM C-131-06	86
4.1.3. Resultados de la norma ASTM C-289-07	86
4.1.4. Resultados de la norma ASTM C-295-08	88
<b>5. ELABORACIÓN DE CONCRETO PARA DETERMINAR RESISTENCIAS</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>123</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES FIGURAS

1. Distribución de los agregados de peso ligero	5
2. Características del agregado determinadas por su micro estructura	13
3. Agregado en varios estados de humedad	16
4. Ilustración división política del departamento de Santa Rosa	28
5. Mapa hidrográfico del departamento de Santa Rosa	30
6. Mapa de ubicación de los tres bancos analizados en el departamento de Santa Rosa	32
7. Ubicación por fotografía aérea bancos uno Sigma Constructores y banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”	33
8. Ubicación por fotografía aérea del banco tres Piedrinera “Las Cañas”	33
9. Mapa geológico del departamento de Santa Rosa	35

10. Ilustración de la curva de división entre agregados Inocuos y dañinos	72
11. Gráfica granulométrica de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)	76
12. Gráfica granulométrica de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	78
13. Gráfica granulométrica de agregado fino banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)	80
14. Granulometría agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	82
15. Granulometría agregado grueso banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)	84
16. Resultado de ensayo de reactividad potencial álcali-sílice para agregados gruesos banco dos y tres	87
17. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino Banco Uno (Sigma, Constructores)	90
18. Gráfica de promedio de análisis por tamiz de agregado fino Banco Uno (Sigma, Constructores)	91

19. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino Banco Dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	92
20. Gráfica de promedio de análisis por tamiz de agregado fino Banco Dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	93
21. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino Banco Tres (Piedrinera “Las Cañas”)	94
22. Gráfica de promedio de análisis por tamiz de agregado fino Banco Tres (Piedrinera “Las Cañas”)	95
23. Muestra de andesita	99
24. Muestra de dacita	100
25. Muestra de hornblenda.	101
26. Muestra piedra pómez (pumita o pumicita)	103
27. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino Banco Uno Sigma Constructores	125

28. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”	126
29. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino banco tres Piedrinera “Las Cañas”	127
30. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”	128
31. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso banco tres “Piedrinera Las Cañas”.	129
32. Informe de la norma ASTM C-131-06 agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos” y agregado grueso banco tres “Piedrinera Las Cañas”	130
33. Informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos” y agregado grueso banco tres “Piedrinera Las Cañas”.	131

34. Informe de la norma ASTM C-295-08 de Agregado Grueso Banco Dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos” y Agregado Grueso Banco Tres “Piedrinera Las Cañas”. 132
35. Informe del diseño teórico de mezcla uno, agregado fino y grueso banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”  $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ . 133
36. Informe del diseño teórico de mezcla dos, agregado fino y grueso banco tres, “Piedrinera Las Cañas”,  $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ . 134
37. Informe del diseño teórico de mezcla tres agregado fino banco uno, Sigma Constructores; agregado grueso banco tres “Piedrinera Las Cañas”  $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ . 135
38. Informe de análisis petrográfico de agregado grueso de banco dos AGREGUA TYRSA “Los Esclavos” identificado como muestra uno. 136

39. Informe de análisis petrográfico de agregado grueso de banco tres Piedrinera “Las Cañas” , identificado como muestra dos.	137
40. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para, $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ . Diseño uno	138
41. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05, para $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ .Diseño dos.	139
42. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ . Diseño tres	140
43. Apilamiento de agregado fino banco uno, Sigma Constructores	141
44. Material apilado agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”.	141
45. Cinta transportadora, trituradora y tamizadota. Método y maquinaria utilizada en los tres bancos. Banco uno Sigma Constructores.	142

46. Trinchera cavada en lecho de río para luego extraer material, banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”	142
47. Realizando prueba de cono de Abraham a diseño práctico	143
48. Cilindros Preparados para Ensayos Destructivos	143
49. Cilindro sometido a ensayo destructivo en CII	144
50. Norma ASTM C-227	138
51. Norma ASTM C-330	152
52. Norma ASTM C-331	156
53. Norma ASTM C-332	160
54. Norma ASTM C-637	166

## TABLAS

I. Composición y densidad de agregados de peso pesado.	6
II. Límites para las sustancias nocivas en los agregados para concreto.	22
III. Cuencas Hidrográficas del Departamento de Santa Rosa	29
IV. . Clasificación de la arena por su módulo de finura.	40
V. Límites de sustancias nocivas en agregados finos.	40
VI. Límites de sustancias nocivas en agregados gruesos.	46
VII. Peso de muestras de agregados para contenido de humedad.	51
VIII. Tipo de abrasión según granulometría.	60
IX. Granulometría de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)	77
X. Propiedades físicas de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)	77
XI. Granulometría de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	79

XII. Características físicas de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	79
XIII. Granulometría agregado fino banco tres (Piedrinera Las Cañas)	81
XIV. Características físicas de agregado fino banco tres (Piedrinera Las Cañas)	81
XV. Granulometría agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)	83
XVI. Propiedades físicas agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)	83
XVII. Granulometría de agregado grueso banco tres (Piedrinera Las Cañas)	84
XVIII. Propiedades físicas de agregado grueso banco tres (Piedrinera Las Cañas)	85
XIX. Resultado de ensayo en la maquina de Los Ángeles de agregado grueso de banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos” y banco tres Piedrinera “Las Cañas”	86
XX. Resultado de reactividad potencial alcalina-sílice para agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos” y agregado grueso banco tres Piedrinera “Las Cañas”.	88

XXI. Resultado análisis petrográfico por tamiz de fino banco uno (Sigma, Constructores)	89
XXII. Promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco uno (Sigma Constructores).	90
XXIII. Resultado análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	91
XXIV. Promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	92
XXV. Resultado análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)	93
XXVI. Promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)	94
XXVII. Resultado de análisis petrográfico agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)	96
XXVIII. Resultado de análisis petrográfico agregado grueso banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)	97
XXIX. Diseños teóricos de concreto (Diseño uno)	110
XXX. Diseños teóricos de concreto (Diseño dos)	111

XXXI. Diseños teóricos de concreto (Diseño tres)	111
XXXII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño uno, ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$	112
XXXIII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño dos, ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$	113
XXXIV. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño tres, ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$	114



## GLOSARIO

<b>Acequia</b>	Zanja o canal por donde se conducen las aguas para regar y para otros fines.
<b>ACI</b>	Siglas en inglés del Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute)
<b>Álcalis</b>	Hidróxidos que se forman cuando elementos alcalinos entran en contacto con el agua. En el Cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los Materiales (American Society for Testing and Materials).
<b>Brecha</b>	Masa rocosa consistente, constituida por fragmentos de rocas de diferentes formas y tamaños.
<b>Concreto estructural</b>	Concreto diseñado para cumplir con los más estrictos requisitos de seguridad, especialmente, en obras localizadas en zonas con alta actividad sísmica, donde son necesarios valores superiores de resistencia a la compresión, densidad y módulo de elasticidad. Elaborado con agregados densos y de características óptimas controladas, da como resultado un producto que satisface la más alta exigencia de calidad en la industria de la construcción.

**Concreto de peso pesado**

Los concretos pesados no difieren de los tradicionales, tan solo en la densidad de hasta aproximadamente 6400 Kg. /m<sup>3</sup>, la cual depende de los áridos empleados.

Las propiedades del concreto de gran peso, sea este en estado fresco o endurecido, se pueden adecuar para satisfacer las condiciones de la obra y los requisitos de blindaje por medio de una selección apropiada de los materiales y de las proporciones de la mezcla.

**Concreto reciclado**

Concreto fabricado con desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril optimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento.

**Deletéreo**

Que es dañino y perjudicial.

**Diaclasa**

Superficie de ruptura en una roca, a lo largo de la cual no se ha producido desplazamiento entre los bloques originados.

**Gradación**

Es una serie de cosas ordenadas gradualmente (tamices).

**Homogenización**

**del concreto** Consiste en el mezclado adecuado de los componentes del concreto, a fin de lograr que estos se encuentren distribuidos de manera uniforme en la mezcla.

**IGN** Siglas del Instituto Geográfico Nacional, Guatemala C.A.

**Inocuo** Que no es nocivo, que no hace daño.

**Intraclastos** Formaciones interiores de algún tipo de roca.

**Litología** Parte de la geología que trata de las rocas.

**Petrografía** Parte de la petrología que trata del estudio de la composición, estructura y clasificación de las rocas.

**Porosidad** Es el volumen de huecos de la roca, y define la posibilidad de ésta de almacenar más o menos cantidad de fluido. Se expresa por el porcentaje de volumen de poros respecto al volumen total de la roca (porosidad total o bruta). Además de esta porosidad total, se define como porosidad útil la correspondiente a huecos interconectados, es decir, el volumen de huecos susceptibles de ser ocupados por fluidos.

**Quínel** Depósito rústico de almacenamiento de agua para fines de riego.

<b>Sanidad</b>	Resistencia de los agregados a la meteorización física y química.
<b>Segregación</b>	Es la separación de los materiales constitutivos del concreto, no logrando una homogeneidad de la mezcla.
<b>Sinterizar</b>	Producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo, generalmente metálicos, a los que se ha modelado por presión.
<b>Tenacidad</b>	Es la resistencia de las rocas a fracturarse bajo el impacto.
<b>Vaciado</b>	Es el proceso de transferir el concreto fresco, del dispositivo de conducción a su sitio final de colocación en las formaletas.

## RESUMEN

El concreto es el principal material de construcción en todo el mundo debido a sus propiedades, costo y fácil elaboración. En nuestro país la demanda de materiales para la elaboración del concreto ha crecido de manera rápida, especialmente la de los agregados para su elaboración, siendo que estos constituyen entre un 60 y 80 por ciento de la masa endurecida, la calidad de estos es fundamental a fin de obtener las propiedades requeridas, de acuerdo al uso que se le desee dar, así mismo la ubicación de los agregados una de las mayores necesidades para los constructores.

Los agregados para concreto son considerados materiales pétreos inertes, sin embargo sus características tales como la porosidad, graduación, absorción de humedad, forma y textura de la superficie, resistencia a la ruptura, módulo de elasticidad y finalmente, los tipos de sustancias nocivas presentes, son realmente significativos para las propiedades importantes del concreto.

Considerando lo anterior los agregados para concreto merecen una mayor atención en cuanto a su calidad debido a su influencia en la resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad del concreto endurecido, así también en la importancia para determinar el costo y trabajabilidad de las mezclas del concreto. Para lograr lo anterior, es necesario el conocer algunos conceptos y definiciones fundamentales, conocer la localización exacta de los bancos donde se van a extraer estos materiales, así como el efectuar los ensayos respectivos para obtener la información precisa sobre los aspectos físicos, mecánicos y químicos de los materiales.

Para alcanzar este fin, en el presente trabajo se encontrará en un primer momento las definiciones principales, clasificaciones y propiedades de los agregados; luego de esto, nos adentramos al conocimiento de la principal normativa utilizada en nuestro medio, vale la pena agregar que en el presente se han utilizado las normas, ASTM C-33 (Especificación normalizada de agregados para concreto), ASTM C-289 (Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados), y ASTM C-295 (Guía normalizada para examen petrográfico de agregados para concreto).

Finalmente, encontrara los resultados de los ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), y en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Lo anterior produjo los elementos suficientes para poder realizar los análisis de resultados, así como para arribar a las conclusiones y proponer las recomendaciones pertinentes al caso.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

Elaborar un diagnóstico de la calidad de los agregados utilizados en la elaboración de concreto en tres bancos del Departamento de Santa Rosa, haciendo uso de las normas ASTM correspondientes, determinando características físicas, mecánicas, químicas y petrográficas.

### **Específicos:**

1. Crear una fuente de información confiable sobre la calidad y ubicación de los agregados disponibles en el Departamento de Santa Rosa, que proporcione características técnicas.
2. Definir a través de la investigación y el análisis de los ensayos de laboratorio, mezclas recomendadas de acuerdo a las características físico-mecánicas de los diferentes bancos de materiales disponibles en el Departamento de Santa Rosa.



## INTRODUCCIÓN

Vivimos en un país con alta vulnerabilidad sísmica, innumerables y diversas de obras de construcción, sin un ente específico que regule los métodos constructivos y los criterios de construcción especialmente los relacionados a la calidad de los materiales de construcción. Lo cual constituye una amenaza para la población y deja como único responsable, sobre estos criterios al constructor. En el mejor de los casos las Municipalidades por medio de sus departamentos de construcción solo se limitan a autorizar los planos de los proyectos, sin poner un solo requerimiento en cuanto a la calidad de los materiales a utilizar.

Por lo anterior, considerando que en nuestro medio, la mayoría de construcciones se hacen con concreto, resulta que la ubicación y la calidad de agregados para la elaboración de concreto, se puede volver un asunto determinante en cuanto al valor de la obra y la factibilidad de un proyecto respaldado técnicamente. La evaluación de la calidad de los materiales, es fundamental en el control de calidad en cualquier tipo de edificación, de ellos depende el buen desempeño y comportamiento de las estructuras, y por lo tanto de su capacidad de resistencia, al tomar de base las propiedades físicas y mecánicas de los materiales con los cuales se construye la obra

La calidad de los agregados influye en las características y propiedades del concreto, y es precisamente esa razón por la cual no se puede dejar de lado la realización de los ensayos respectivos para determinar las características de los agregados, para determinar los parámetros de resistencia sobre los cuales se lleva a cabo una obra de construcción.

Los ensayos deben ser significativos, confiables, reproducibles, de precisiones conocidas y económicas. Para realizar los ensayos se debe conocer la procedencia del banco de materiales, con el objetivo de sentar precedente en una posterior utilización del mismo. Conociendo entonces la calidad de los agregados, será determinante para utilizarlo o no en futuras construcciones. En el presente trabajo, se ha considerado como objeto de estudio e investigación los bancos de materiales disponibles en el departamento de Santa Rosa, por considerarse que hasta la fecha no existe información precisa en cuanto a los bancos de materiales existentes, para determinar si son aptos para ser utilizados en la elaboración del concreto.

Los resultados de los ensayos que se presentan en este trabajo, se realizaron considerando normas internacionales ASTM para el control de la calidad de los agregados, los cuales, sin lugar a dudas, constituirán así un beneficio para los profesionales dedicados a la construcción como para la población de la región.

## 1. LOS AGREGADOS.

### 1.1. Definición

Los agregados (materiales de construcción) se definen como partículas minerales que se le adicionan a la pasta (cemento y agua), para producir, al endurecerse, un sólido único o piedra artificial conocida con el nombre de hormigón. La mayoría de los agregados constituyen entre el 70% a 80 % del volumen de la mezcla del concreto. Los agregados deben ser minerales inertes para que no se produzcan reacciones químicas con el cemento, que cambien las propiedades Físico-Mecánicas de la mezcla.

Los agregados tienen una acción determinante sobre las características del concreto, tanto en estado plástico como en estado endurecido. En estado plástico la arena y la pasta actúan como lubricante de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada. Durante el proceso de fraguado la pasta experimenta una pérdida de humedad que origina una contracción. Con la introducción de los agregados a la pasta se forma una trabazón de tal manera que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen y se disminuye el volumen total que pueda sufrir por contracción.

### 1.2. Clasificación.

Según su origen, los agregados pueden ser naturales o artificiales.

- **Agregados naturales:** Son los que se encuentran en la corteza terrestre (casi siempre en un mismo lugar de origen -Banco de Materiales-), y sus partículas se forman por la acción directa con la naturaleza por proceso de trituración y fragmentación inducidos por el hombre, la mayoría de sus propiedades

químicas son iguales a la de la roca madre. A través de estos procesos se obtienen los verdaderos agregados tradicionales como gravas y arenas.

- **Agregados artificiales:** Reciben también el nombre de manufacturados y se obtienen a través de procesos industriales por fenómenos de licuefacción y pulverización. Los minerales en este estado se llevan a los tamaños deseados y se vuelven a endurecer para su posterior utilización, de este grupo hacen parte la escoria de alto horno, arcillas expansibles, limaduras de hierro, humo de sílice, etc.

- **Mixtos (naturales y artificiales):** Existe una tercera clasificación de los agregados, que proviene de la trituración de grava y comúnmente mezclado con grava natural. Es de buena clase; para su utilización económica, hay que fijar un límite a la parte triturada.

Además de la clasificación por su origen, los agregados también pueden clasificarse por su densidad. Pudiendo ser: ligeros, normales o pesados de acuerdo a su densidad.

- **Agregados ligeros:** son aquellos cuya densidad oscila entre 500 y 1000  $\text{kg/m}^3$ , son utilizados en concreto de relleno o en mampostería estructural.

- **Agregados normales:** son aquellos cuya densidad se encuentra comprendida entre 1300 y 1600  $\text{kg/m}^3$ , se utilizan en concretos de uso general.

- **Agregados pesados:** son aquellos cuya densidad está entre 3000 y 7000  $\text{kg/m}^3$ , se utilizan en hormigones pesados, tales como los utilizados en centrales nucleares o usos especiales.

### **1.3. Agregados minerales naturales.**

Los agregados minerales naturales forman la clase más importante de los agregados para producir concreto. Buena parte del agregado grueso total consumido por la industria del concreto consiste en gravas; la mayor parte del resto es roca triturada. Las rocas de carbonato comprenden aproximadamente dos tercios del agregado triturado; la roca arenisca, el granito, la diorita, el gabro, el basalto y la andesita constituyen el resto. Los agregados minerales naturales provienen de rocas de varios tipos; la mayoría de las rocas están ellas mismas compuestas por varios minerales.

Un mineral se define como una sustancia inorgánica que se encuentra en la naturaleza, con una composición química definida y generalmente con una estructura específicamente cristalina. Una revisión elemental de los aspectos de la formación de la roca y de la clasificación de las rocas y los minerales, es esencial para entender no solamente por qué algunos materiales son más utilizados como agregados que otros, sino también para entender las relaciones micro estructura-propiedades en el agregado.

### **1.4. Agregados de peso ligero.**

Los agregados que pesan menos de  $1,120 \text{ kg/m}^3$ , se consideran generalmente de peso ligero y encuentran su aplicación en la producción de varios tipos de concreto de peso ligero. El peso ligero se debe a su micro estructura celular o altamente porosa.

Los agregados naturales de peso ligero son elaborados procesando rocas ígneas volcánicas tales como la roca pómez, la escoria o la turba. Los agregados sintéticos de peso ligero pueden manufacturarse por tratamiento térmico de una variedad de materiales, por ejemplo, lutita, arcilla, pizarra, diatomita, perlita, vermiculita, escoria de alto horno y ceniza volante.

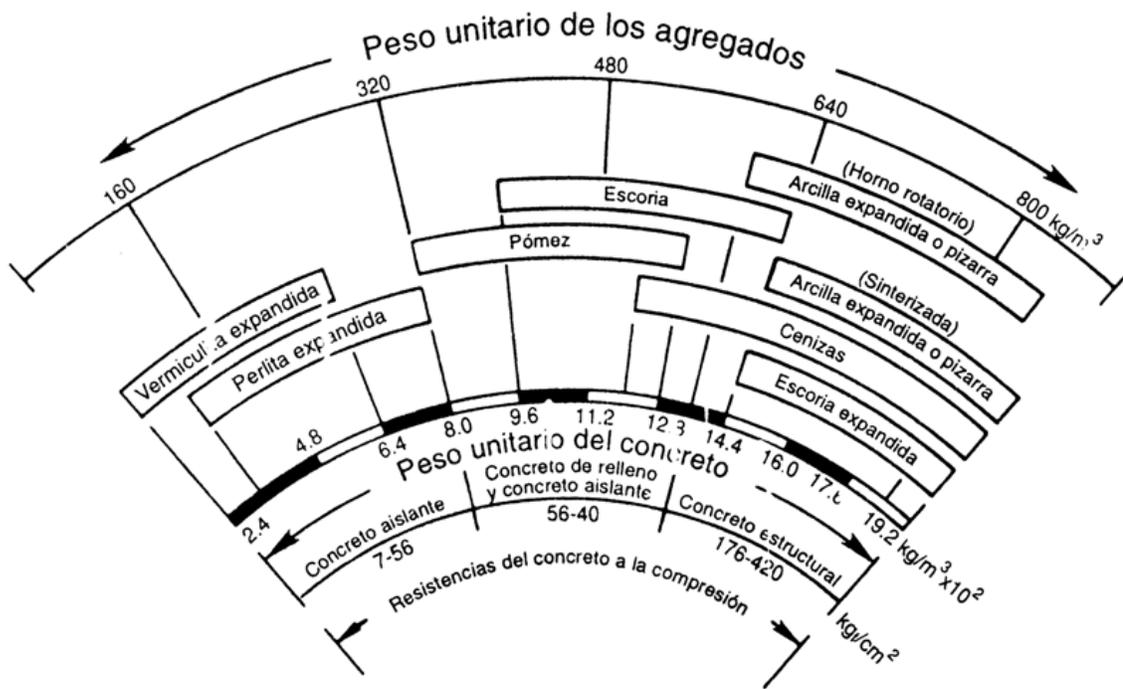
Los agregados muy porosos, que son los más ligeros del género, son en general débiles y por lo tanto, los más adecuados para producir concretos aislantes no estructurales. Al otro extremo del espectro se encuentran aquellos agregados de peso ligero que son relativamente menos porosos; cuando la estructura del poro consta de poros finos uniformemente distribuidos, el agregado es generalmente resistente y capaz de utilizarse en concreto estructural.

El concreto ligero tiene mejor resistencia al fuego y mejores propiedades aislantes acústicas y térmicas que el concreto normal, proporciona economía en los elementos estructurales para cimentación, por la disminución de cargas muertas. El concreto estructural con agregados ligeros cuesta de treinta a cincuenta por ciento más que el preparado con agregados normales, presenta mayor porosidad y mayor contracción por secado. La resistencia a la intemperie es, más o menos, la misma para ambos tipos de concreto. El concreto ligero también puede hacerse con agentes espumantes, como polvo de aluminio, los cuales generan un gas mientras el concreto está plástico todavía y puede dilatarse. Los agregados de peso ligero tienen especificaciones por separado para su uso en concreto estructural bajo la norma ASTM C-330. Asimismo para concreto aislante norma ASTM C-332 y concreto para la producción de unidades de mampostería norma ASTM 331(Ver en anexos breve descripción de otras normas mencionadas).

Estas especificaciones contienen los requisitos para el graduado, el tipo de sustancias indeseables y los pesos unitarios de los agregados, así como para el peso unitario, resistencia y retracción por secado del concreto que contiene el agregado.

Existe toda una distribución de agregados de peso ligero que pesan de 80 a 900 kg/m<sup>3</sup>, los cuales se encuentran representados en la siguiente gráfica (figura 1).

**Figura 1. Distribución de los agregados de peso ligero**



Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales.

### 1.5. Agregados de peso pesado.

En comparación con el concreto de agregado de peso normal, que en general tiene un peso volumétrico de 2,400 kg/m<sup>3</sup>, los concretos de peso pesado pesan de 2,890 a 6,100 kg/m<sup>3</sup>, cuando se utilizan municiones de acero como agregado fino y partículas de acero como agregado grueso. Encuentran aplicación en blindajes de protección contra la radiación nuclear. Los agregados gruesos se utilizan en los concretos para blindaje, porque la absorción de rayos gamma es proporcional a la densidad. La norma ASTM C-632 y ASTM C-637 (Ver en Anexos breve descripción de otras normas mencionadas), cubren las

especificaciones estándar y la nomenclatura descriptiva, respectivamente, de los agregados para concreto de escudos contra radiación.

Los agregados de peso pesado (es decir, aquéllos que tienen una densidad más alta que los agregados de peso normal), se utilizan para la producción de concreto de peso pesado. Las rocas naturales adecuadas para la producción de agregados de peso pesado contienen predominantemente dos minerales de bario, varios minerales de hierro y un mineral de titanio. Un producto sintético llamado ferro fósforo también puede ser utilizado como agregado de peso pesado.

**Tabla I. Composición y densidad de agregados de peso pesado.**

Tipo de Agregado	Composición química del mineral principal	Densidad relativa del mineral puro	Peso volumétrico $\text{kg/m}^3$
Witerita	$\text{Ba C O}_3$	4,29	2,320
Barita	$\text{Ba C O}_4$	4,50	2,560
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	5,17	2,720
Lepidocrocita	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	4,9 - 5,3	3,040
Geotita Limonita Ilmenita	Minerales de hierro hidratado contenido 8 - 12 % de agua	3,4 - 4,0	2,240
Ferrofósforo Agregado de acero	$\text{Fe}_2 \text{Ti O}_3$ $\text{Fe}_3 \text{P}$ , $\text{Fe}_2 \text{P}$ , $\text{Fe P}$ Fe	4,72 5,7 - 6,5 7,80	2,560 3,680 4,480

Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales.

Los minerales de hierro hidratado y los minerales de boro y las fritas se incluyen a veces en los agregados para hacer concretos de peso pesado, ya que el boro y el hidrógeno son muy efectivos en la atenuación (captura) de neutrones. Los productos del punzonado del acero, los cortes de varilla de hierro y la granalla de hierro, también han sido investigados para utilizarse

como agregados de peso pesado, pero en general la tendencia del agregado a segregarse en el concreto, se incrementa con la densidad del agregado.

### **1.6. Agregado de escoria de alto horno.**

El enfriado lento de la escoria de alto horno en ollas, en fosas o en moldes de hierro, produce un material que puede ser triturado o graduado para obtener partículas densas y fuertes, adecuadas para usarse como agregados. Las propiedades del agregado pueden variar con la composición y la velocidad del enfriado de la escoria; las escorias ácidas generalmente producen un agregado más denso y las escorias básicas tienden a producir estructuras vesiculares o en forma de panal con una densidad relativa aparente más baja (2 a 2.8).

En general, el peso volumétrico de las escorias enfriadas lentamente, que va de 1,120 a 1,360 kg/m<sup>3</sup>, se halla más o menos entre el agregado de peso natural y el agregado estructural de peso ligero. Los agregados son ampliamente utilizados para elaborar productos de concreto precolado, tales como bloques para mampostería, canales y postes de bardas.

Hay que hacer notar que las escorias de alto horno también han sido utilizadas para la producción de agregados de peso ligero, cumpliendo con los requisitos de la norma ASTM C-330 o C-331. Para este objeto, la escoria fundida es tratada con cantidades limitadas de agua o de vapor y el producto es llamado escoria expandida o escoria espumada.

### **1.7. Agregado de ceniza volante.**

La ceniza volante consiste esencialmente en pequeñas partículas esféricas de vidrio de aluminosilicato, que se produce por la combustión de carbón pulverizado en plantas de energía térmica y constituyen en si las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de gases. Puesto que grandes

cantidades de la ceniza quedan inutilizadas en muchas partes industrializadas del mundo, se ha intentado utilizar la ceniza para producir agregados de peso ligero. Las variaciones en fineza y en contenido de carbono de la ceniza volante son un gran problema para controlar la calidad del agregado de ceniza volante.

Las cenizas volantes utilizadas en el concreto deben tener conformidad con la norma ASTM C-618. La cantidad de ceniza volante en el concreto puede variar entre el 5 y el 65 por ciento en peso de los materiales cementantes, según la fuente y la composición de la ceniza volante y del desempeño requerido al concreto. Las características de la ceniza volante pueden variar significativamente según la fuente del carbón mineral que se quema. Las cenizas de Clase F son normalmente producidas de la quema de la antracita o de carbones bituminosos y generalmente poseen un contenido bajo de calcio. Las cenizas de Clase C son producidas cuando se queman carbones sub-bituminosos y poseen típicamente propiedades puzolánicas.

La presencia de cementantes en el concreto, como la ceniza volante, puede modificar el tamaño de los poros y minimizar significativamente el efecto adverso que se produce en la zona de la transición, es decir, se optimiza el empaquetamiento de partículas de la matriz cementante, mejorando como consecuencia el enlace con el agregado y las propiedades mecánicas del concreto.

Se producen concretos de alta resistencia mecánica a la compresión con concretos fluidos con alto contenido de ceniza volante y con contenidos bajos de Cemento Pórtland de 100 y 150 kg/m<sup>3</sup> de concreto, siendo imprescindible el uso de aditivo superfluidificante para la dosificación.

Las bajas relaciones agua/cementante, que se obtiene como consecuencia de la adición de ceniza volante, permiten reducir la retracción por secado y la resistencia a la abrasión en concretos fluidos con alto contenido de ceniza volante.

Existe otro tipo de agregado, el humo de sílice que es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferró silíceo, y se recolecta de la chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento.

El humo de sílice, mencionado anteriormente, está disponible como un polvo densificado o en forma de material acuoso. Generalmente se utiliza entre el 5 y el 12 por ciento en peso de los materiales cementantes para las estructuras de concreto que necesitan alta resistencia o una permeabilidad significativamente reducida al agua. Debido a su extrema finura, deberán garantizarse procedimientos especiales para la manipulación, el vaciado y el curado del concreto con este material, cumpliendo con la norma ASTM C-1240 para tal efecto.

### **1.8. Agregados de concreto reciclado y desperdicios municipales.**

El cascajo de edificios demolidos de concreto produce fragmentos en los que el agregado es contaminado con pasta de cemento hidratado, yeso y cantidades menores de otras sustancias. Las partículas que corresponden al agregado fino contienen en su mayoría pasta de cemento hidratada y yeso, y son inadecuadas para producir nuevas mezclas de concreto. Sin embargo, las partículas que corresponden al agregado grueso, aunque estén cubiertas con pasta de cemento, han sido utilizadas con éxito. En comparación con el concreto que contiene un agregado natural, el concreto de agregado reciclado

tendría al menos dos tercios de la resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad del primero, y una trabajabilidad y durabilidad satisfactorias.

En lo referente a los desperdicios municipales de residuos de incineradores como fuentes posibles de agregados para concreto. El vidrio, el papel, los metales y los materiales orgánicos son importantes componentes de los desperdicios municipales. La presencia de vidrio triturado en el agregado tiende a producir mezclas de concreto no trabajables y, debido a su alto contenido de álcalis, afecta la durabilidad a largo plazo y la resistencia. Los metales tales como el aluminio reaccionan con las soluciones alcalinas y causan una expansión excesiva. El papel y los desperdicios orgánicos, con o sin incineración, causan problemas de fraguado y de endurecimiento en el concreto de Cemento Pórtland. Por lo tanto, los desperdicios municipales no se consideran adecuados para producir agregados que se utilicen en el concreto estructural.

### **1.9. Producción de agregados.**

Los depósitos de agregados del suelo son una buena fuente de arena natural y grava, pero debe tomarse en cuenta que los depósitos del suelo usualmente contienen diversas cantidades de limo y arcilla, que afectan adversamente las propiedades tanto del concreto fresco como del concreto endurecido, estos materiales deben separarse por medio de lavado o por tamizado en seco.

La selección del procedimiento de lavado o de tamizado en el caso del limo y de la arcilla, influirá notablemente en la cantidad de sustancias nocivas del agregado; por ejemplo, los recubrimientos de arcilla no pueden ser removidos tan adecuadamente por medio del tamizado en seco como lo son por medio de lavado.

Generalmente para la producción de agregados es necesario equipo de triturado, debido a que puede extraerse grava de gran tamaño, que luego puede ser triturada y mezclada adecuadamente con material no triturado de igual tamaño. Por lo cual la selección del equipo puede determinar la forma de las partículas. Por ejemplo los trituradores de mandíbula y los trituradores de impacto, logran producir partículas planas a partir de rocas sedimentarias laminadas.

Las plantas modernas de agregados, que producen arena y grava o roca triturada, tienen el equipo necesario para realizar las operaciones que comprenden el triturado, limpiado, separación de tamaños y combinación de dos o más fracciones para cumplir con las especificaciones del cliente, el cual relaciona directamente el graduado adecuado de los agregados con el costo del concreto.

Por aparte, los agregados sintéticos de peso ligero tales como las arcillas expandidas, las lutitas y la pizarra, se producen por tratamiento caliente de los materiales adecuados. Trituradas y dimensionadas o molidas y granuladas, las materias primas se exponen a temperaturas generalmente del orden de 1000 a 1100 °C, en tal forma que una parte del material se funde produciendo un fundido viscoso. Los gases desarrollados como resultado de la descomposición química de algunos de los elementos constituyentes de las materias primas, son atrapados por la sustancia viscosa, expandiendo así la masa sinterizada. En general, las materias carbonáceas o los minerales de carbono son las fuentes de estos gases; los álcalis y otras impurezas en la arcilla o en la pizarra, son los responsables de la fusión a baja temperatura.

El tratamiento por calor generalmente se lleva a cabo en un horno rotatorio de gas o de petróleo, similar a aquéllos utilizados para elaborar el Cemento Pórtland. Muchas plantas saturan al vacío el producto con humedad, antes de entregarlo al cliente, para facilitar un mejor control en la consistencia del concreto fresco.

Los agregados de peso ligero, deben de triturarse, molerse y mezclarse en las plantas de producción, con el fin de obtener una distribución uniforme de los poros finos, lo cual es necesario para producir materiales con alta resistencia a la trituración.

#### **1.10. Características del agregado.**

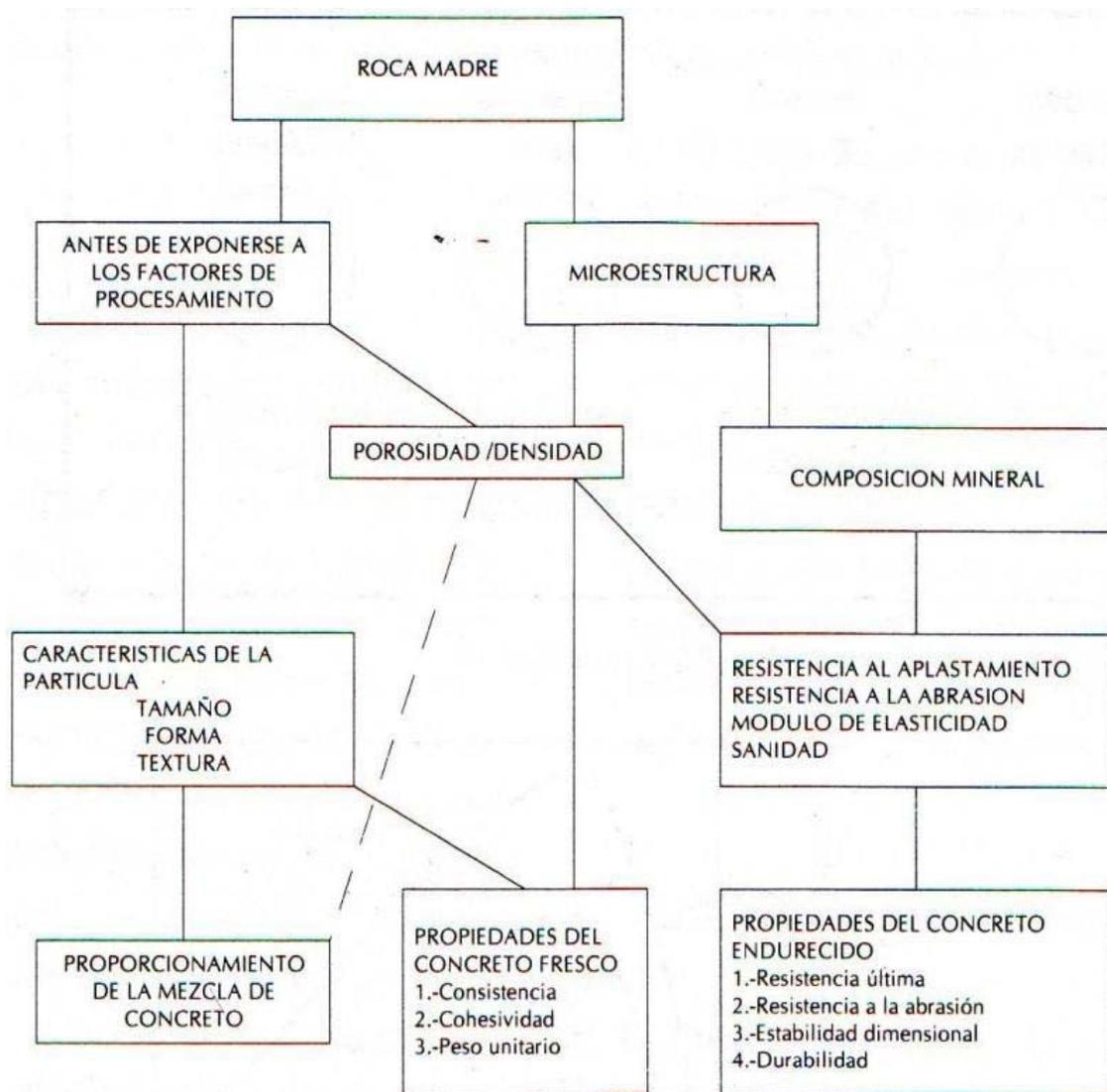
Existe una gran variabilidad en las características de los agregados pétreos que componen el concreto. Siendo éstas de carácter físico y químico que producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del concreto como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

Por lo tanto se requiere conocer características del agregado, tal como la densidad, granulometría y estado de humedad que son requeridas para la proporción de las mezclas de concreto, al igual que la porosidad, densidad, granulometría, forma y textura de la superficie para determinar propiedades de mezclas de concreto fresco. La composición mineral del agregado, al igual que la porosidad afecta la resistencia a la trituración, su dureza, su módulo de elasticidad y su sanidad, que influyen a su vez en propiedades del concreto endurecido que contenga dicho agregado.

Las características del agregado se derivan de la micro estructura del material, originada por las condiciones previas de exposición y de los factores del procesado, por lo que las propiedades del agregado se analizan en dos

partes basándose en los aspectos que afectan: la proporción de la mezcla y el comportamiento del concreto fresco y endurecido, tal como lo muestra el diagrama de la figura 2.

**Figura 2. Características del agregado determinadas por su micro estructura**



Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales.

Aunque es más apropiado dividir las propiedades en los siguientes grupos que se basan en factores de micro estructura y de procesamiento.

- Características que dependen de la porosidad: densidad, absorción de humedad, resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sanidad.
- Características que dependen de la previa exposición de los factores de procesamiento: dimensión de partículas, forma y textura.
- Características que dependen de la composición química y mineralógica: resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sustancias nocivas presentes.

#### **1.10.1 Densidad y densidad aparente.**

La densidad o bien peso específico relativo es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada (tomando 20°C como temperatura normal). En los agregados se toma el peso específico de partículas saturadas de superficie seca.

Los agregados naturales son porosos y sus valores de porosidad de hasta 2 por ciento son comunes para las rocas ígneas intrusivas; hasta 5 por ciento para rocas sedimentarias densas y de 10 a 40 por ciento para piedras areniscas y piedras calizas muy porosas. Para el diseño de mezcla, es necesario conocer el espacio ocupado por las partículas del agregado, inclusive de los poros existentes dentro de las partículas, y no es necesario determinar la verdadera densidad de un agregado. Por lo tanto, la determinación de la densidad aparente relativa, que se define como la densidad del material, incluyendo los poros impermeables, es suficiente. La densidad aparente relativa para las rocas

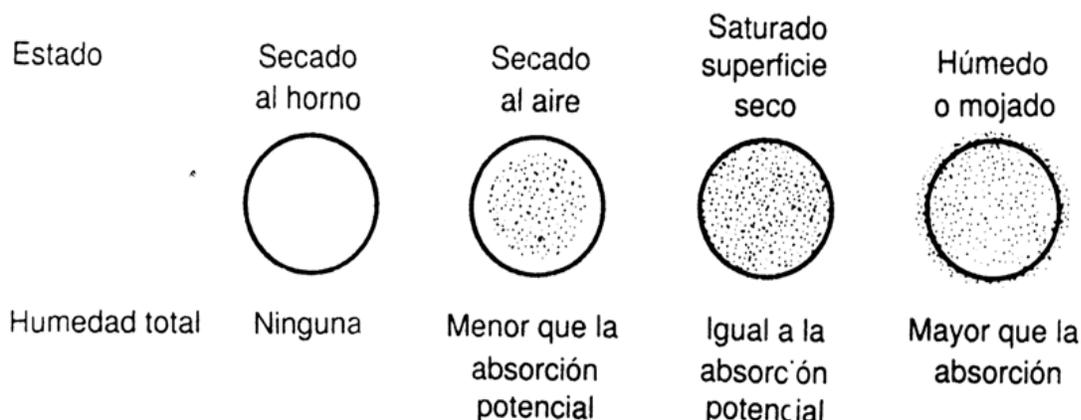
utilizadas más comúnmente, está entre 2.6 y 2.7; siendo los valores comunes para granito, roca arenisca y roca caliza densa, son 2.69, 2.65 y 2.60 respectivamente.

Para la proporción de una mezcla, además de la densidad aparente relativa o peso específico relativo, se necesitan generalmente los datos del peso unitario o también llamado peso volumétrico, que se define como el peso de los fragmentos del agregado que llenarían una unidad de volumen. El fenómeno del peso unitario aparece debido a que no es posible empacar fragmentos juntos de agregado de manera que no queden espacios vacíos. El término volumétrico se utiliza puesto que el volumen es ocupado tanto por los agregados como por los huecos. El peso volumétrico o peso unitario aproximado de los agregados comúnmente utilizados en concretos de peso normal, va de 1300 a 1750 kg/m<sup>3</sup>.

#### **1.10.2 Absorción y humedad superficial.**

La capacidad de absorción se define como la cantidad total de humedad requerida para llevar a un agregado de la condición de secado al horno a la condición de saturada superficialmente seca, que es cuando todos los poros permeables del agregado están llenos y no hay partícula de agua en la superficie; cuando el agregado está saturado y hay también una humedad libre en la superficie, el agregado está en una condición mojada o húmeda. En el caso de agregado secado al horno, toda el agua evaporable ha sido extraída calentando a 100° C.

**Figura 3. Agregado en varios estados de humedad**



Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. *Concreto: estructura, propiedades y materiales*

La figura 3 ilustra cómo el concepto de condición saturada superficialmente seca (SSS), es útil para determinar la absorción potencial de la humedad libre en el agregado.

La absorción efectiva es definida como la cantidad de humedad requerida para llevar a un agregado de la condición de secado al aire a la condición saturada superficialmente seca.

La cantidad de agua que excede del agua requerida para la condición saturada superficialmente seca, es llamada la humedad superficial. Los datos de la capacidad de absorción, de la absorción efectiva y de la humedad superficial son necesarios invariablemente para corregir la cantidad de agua y las proporciones del agregado en mezclas de concreto hechas con los materiales almacenados.

La capacidad de absorción de un agregado, que es fácilmente determinada, puede utilizarse como una medida de la porosidad y de la resistencia.

Normalmente, los valores de la corrección de la humedad para rocas ígneas intrusivas y rocas densas sedimentarias son muy bajos, pero pueden ser realmente altos en el caso de rocas porosas sedimentarias, agregados de peso ligero y arenas húmedas.

Las arenas húmedas pueden sufrir de un fenómeno conocido como abundamiento. Dependiendo de la cantidad de humedad y la graduación del agregado, puede ocurrir un considerable incremento en el volumen de la masa de la arena debido a que la tensión superficial en la humedad mantiene apartadas a las partículas. Puesto que la mayoría de las arenas se entregan en la obra en condición húmeda, pueden ocurrir amplias variaciones en las cantidades de las cargas si la proporción se hace por volumen. Por esta razón se ha vuelto una práctica normal el proporcionar la mezcla de concreto por peso en la mayoría de países.

### **1.10.3 Resistencia a la trituración, resistencia a la abrasión y módulo de elasticidad**

La resistencia a la trituración, la resistencia a la abrasión y el módulo de elasticidad del agregado son propiedades interrelacionadas, en las que influye grandemente la porosidad. Los agregados de fuentes naturales que se utilizan comúnmente para elaborar concretos de peso normal, son generalmente densos y resistentes, por lo tanto, raramente son un factor limitante a la resistencia y a las propiedades elásticas del concreto endurecido.

Los valores típicos de resistencia a la trituración y módulo dinámico de elasticidad para la mayoría de los granitos, basaltos, rocas parduscas, pedernales, cuarcita, roca arenisca y rocas calizas densas, están en el rango de 210 a 310 MPa y 70 a 90 GPa, respectivamente. Con respecto a las rocas

sedimentarias, la porosidad varía en un amplio rango y lo mismo sucede con la resistencia a la trituración y características afines.

#### **1.10.4 Sanidad.**

El agregado es considerado in sano cuando los cambios de su volumen causados por el clima, como los ciclos alternados de mojado y secado, o de congelamiento y descongelamiento, resultan en el deterioro del concreto. La falta de sanidad se muestra generalmente en las rocas que tienen una estructura característica de poros. Los concretos que contienen algunos horstemos, pizarras, rocas calizas y rocas areniscas, han sido hallados susceptibles de daño por congelación y por cristalización de sales dentro de los agregados. Aunque se utiliza a menudo la alta absorción de humedad como un índice de falta de sanidad, muchos agregados como la roca pómez y las arcillas expandidas, pueden absorber grandes cantidades de agua y permanecer sanas.

La falta de sanidad está relacionada por lo tanto con la distribución del tamaño de los poros, más que con la porosidad total del agregado. La distribución del tamaño de poros, que permite a las partículas del agregado saturarse al mojarse (o a descongelarse en el caso de congelación), pero evita el fácil drenado al secarse (o congelarse), es capaz de causar altas presiones hidráulicas dentro del agregado. La sanidad del agregado al desgaste por la acción ambiental es determinada por el Método C88 de la norma ASTM, que describe un procedimiento estándar para determinar directamente la resistencia del agregado a la desintegración al exponerlo a cinco ciclos de humedecimiento y secado; se utiliza solución saturada de sodio o de sulfato de magnesio para el ciclo de humedecimiento.

En el caso de un congelamiento, además de la distribución del tamaño del poro y del grado de saturación, existe un tamaño crítico del agregado debajo del cual no ocurrirán los altos esfuerzos internos capaces de agrietar la partícula. Para la mayor parte de los agregados, este tamaño crítico es mayor que el tamaño normal de los agregados gruesos utilizados en la práctica; sin embargo, para algunas rocas pobremente consolidadas (como la roca arenisca, la roca caliza, los horstenos y las pizarras), se considera que este tamaño está dentro del rango de 12 a 25 mm.

#### **1.10.5 Tamaño y granulometría.**

La granulometría es la distribución de las partículas de materiales granulares de varios tamaños, que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o menores que cada una de las series de tamaños o de aberturas de mallas, o los porcentajes entre ciertos rangos de aberturas de mallas.

La influencia en la trabajabilidad y en el costo son algunas razones importantes para especificar los límites de granulometría y el tamaño máximo del agregado. Por ejemplo, las arenas muy gruesas producen mezclas de concreto ásperas y difícilmente trabajables, y las arenas muy finas incrementan los requisitos de agua (por lo tanto, incrementan también el requerimiento del cemento para una relación dada de agua/cemento) y resultan antieconómicas; los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño en particular, producen las mezclas para concreto más trabajables y económicas.

El tamaño máximo del agregado es diseñado convencionalmente por el tamaño del tamiz en la que queda retenido el 15 por ciento o más de las partículas. En general, cuanto más grande es el tamaño máximo del agregado, más pequeña

será el área de la superficie por unidad de volumen que ha de ser cubierta por la pasta de cemento de una relación dada de agua/cemento.

Puesto que el precio del cemento es aproximadamente 10 veces (o aún más) mayor que el precio del agregado, cualquier maniobra que ahorre cemento sin reducir la resistencia y la trabajabilidad del concreto puede resultar en un significativo beneficio económico. Además del costo económico, hay otros factores que rigen la selección del tamaño máximo del agregado para una mezcla de concreto, tal como lo estipula el código del ACI, el cual dicta ciertas especificaciones para tales fines.

En la práctica, un factor empírico llamado módulo de finura se utiliza a menudo como un índice de la fineza de un agregado, un indicador del grosor o la finura globales del agregado. El módulo de finura es calculado por medio de datos de un análisis de tamizado, sumando los porcentajes acumulados del agregado retenido en cada una de los tamices de la serie especificada y dividiendo la suma entre 100. Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son: No. 100 (150  $\mu\text{m}$ ), No. 50 (300  $\mu\text{m}$ ), No. 30 (600 $\mu\text{m}$ ), No. 16 (1.18 mm), No. 8 (2.36 mm), No. 4 (4.75 mm). Cuanto más alto es el módulo de finura, más grueso será el agregado.

#### **1.10.6 Forma y textura de la superficie.**

La forma y la textura de la superficie de las partículas del agregado, influyen en las propiedades de las mezclas de concreto fresco más que en el concreto endurecido; comparadas con las partículas tersas y redondeadas, las de textura áspera, angulares y alargadas requieren más pasta de cemento para producir mezclas de concreto trabajables, incrementando así los costos.

La forma se refiere a características geométricas tales como redonda, angular, alargada o en hojuelas. Las partículas formadas por abrasión tienden a

redondearse perdiendo sus bordes y esquinas. Las arenas desgastadas por el viento, así como la arena y la grava de la orilla del mar o de los ríos, tiene una forma generalmente bien redondeada. Las rocas intrusivas trituradas poseen bordes y esquinas bien definidos, son llamadas angulares y generalmente producen partículas equidimensionales.

Las rocas calizas laminadas, las piedras areniscas y la pizarra tienden a producir fragmentos alargados y en forma de hojuelas, especialmente cuando se utilizan trituradoras de quijadas para el procesamiento. Aquellas partículas en las que el espesor es pequeño en relación con sus otras dos dimensiones son llamadas planas o de hojuelas, mientras que las que tienen una longitud considerablemente mayor que las otras dos dimensiones son llamadas alargadas.

Los agregados deberán estar relativamente libres de partículas planas y alargadas. Las partículas alargadas y en forma de navaja deberán evitarse o limitarse a un máximo de 15 por ciento por peso del agregado total. Este requisito es importante no sólo para el agregado grueso sino también para las arenas manufacturadas (hechas con piedra triturada) que contengan granos alargados y producen un concreto muy áspero.

La clasificación de textura de la superficie que se define como el grado en que la superficie del agregado es tersa o áspera, se basa en un juicio visual. La textura de la superficie del agregado depende de la dureza, tamaño del grano y de la porosidad de la roca madre, y de su subsiguiente exposición a las fuerzas abrasivas.

La obsidiana, el pedernal y las escorias densas muestran una textura tersa, vidriosa. La arena, las gravas y el horsteno son tersas en su estado natural. Las

rocas trituradas tales como el granito, el basalto y la roca caliza muestran una textura rugosa.

Al menos durante sus edades tempranas, la resistencia de concreto, particularmente la resistencia a la flexión, puede ser afectada por la textura del agregado; una textura más áspera parece ayudar a la formación de una adherencia física más fuerte entre la pasta de cemento y el agregado.

### 1.10.7 Sustancias nocivas.

Las sustancias nocivas son aquellas que están presentes como constituyentes menores, ya sea del agregado fino o del agregado grueso, pero que son capaces de afectar adversamente la trabajabilidad, el fraguado, endurecimiento y características de durabilidad del concreto. En la siguiente tabla se detalla un listado de sustancias nocivas, una descripción de sus efectos en el concreto y límites de la especificación ASTM C-33 de las cantidades máximas permisibles de dichas sustancias en el agregado.

**Tabla II. Límites para las Sustancias Nocivas en los Agregados para Concreto.**

Substancia	Efectos dañinos posibles en el concreto	Máximo permitido (% en peso)	
		Agregado fino	Agregado grueso <sup>a</sup>
Material más fino que el tamiz 75 $\mu\text{m}$ (No. 200) Concreto sujeto a la abrasión Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad: aumenta el requerimiento de agua	3 <sup>b</sup> 5 <sup>b</sup>	1
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la resistencia a la abrasión	3	5
Carbón y lignito Donde la apariencia de la superficie del concreto es importante Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad; causa manchas	0,5 1	0,5
Horsteno (menos de 2,4 de densidad relativa)	Afecta la durabilidad		5

Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales.

- a) Los límites de la norma ASTM C-33 para sustancias nocivas en agregado grueso varían con las condiciones de exposición y el tipo de la estructura de concreto. Los valores mostrados en esta tabla son para estructuras exteriores expuestas en condiciones climáticas moderadas.
  
- b) En el caso de arena fabricada, si el material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  consiste en polvo de la fractura, libre esencialmente de arcilla o pizarra, estos límites pueden aumentarse a 5 y 7 % respectivamente.

Además de los materiales que afectan el concreto, existen otras sustancias que pueden ser de efectos nocivos, produciendo reacciones químicas en el concreto. Para ello en ambos agregados fino y grueso, la norma ASTM C-33-08 requiere que el agregado para uso en el concreto que va a estar sujeto a la humedad, amplia exposición a una atmósfera húmeda o en contacto con la humedad del suelo, no deberá contener ningún material que sea nocivamente reactivo con los álcalis del cemento, en una cantidad suficiente para causar una expansión excesiva, y si tales materiales están presentes en cantidades perjudiciales, el agregado podrá ser usado con un cemento que contenga menos de 0.6 por ciento de álcalis o agregándole un material que se haya probado que evita la expansión dañina debida a la reacción álcali-agregado.

Los sulfuros de hierro, especialmente la marcasita, presentes en ciertos agregados, han sido hallados como los causantes de reacciones expansivas. En el ambiente saturado de cal del concreto de Cemento Pórtland, los sulfuros reactivos de hierro pueden oxidarse y formar sulfato ferroso, que causa ataque de los sulfatos al concreto y corrosión del acero embebido. Los agregados contaminados con yeso o con otros sulfatos solubles tales como el sulfato de

magnesio, el sulfato de sodio o el sulfato de potasio, también originan ataque por sulfatos.

Se debe agregar que los problemas en el fraguado y en el endurecimiento del concreto también pueden ser causados por impurezas orgánicas en el agregado, tales como material de vegetales descompuestos que puedan estar presentes en la forma de limo orgánico o humus.

### **1.11 Petrografía del concreto y sus materias primas.**

La petrografía tiene por objeto el estudio de la composición, estructura, situación, relaciones mutuas, formación y alteración de las rocas. Mientras se trata únicamente de fijar la posición geológica de las rocas, la Petrografía no presenta ninguna particularidad, pero, en cambio, la ofrece, si se trata de determinar la composición mineralógica.

Son pocas las rocas en que los minerales se presentan de tamaño suficientemente grande para poder ser determinados por los métodos ordinarios mineralógicos; en la mayor parte de los casos, son tan pequeños, que a simple vista apenas si pueden reconocerse o no se distinguen, hasta el extremo de que no hay modo de conocer su forma cristalina (que, por otra parte, rara vez se presenta en los principales minerales petrográficos).

Además, los componentes de las rocas ordinariamente están tan firmemente e íntimamente unidos, que no pueden ser aislados de ellas si no es valiéndose de medios auxiliares; debido a esto ha sido necesario crear métodos apropiados para identificar fácilmente los minerales en esta forma de asociación petrográfica.

El microscopio petrográfico ha sido utilizado desde mediados del siglo XIX por los geólogos para entender e interpretar la génesis y mineralogía de las rocas. En épocas más recientes, la aplicación de técnicas de microscopía en el estudio de la apariencia y propiedades del concreto, que desde el punto de vista petrográfico no es más que una roca artificial hecha por el hombre, ha permitido desarrollar una nueva disciplina que hoy en día se conoce como petrografía del concreto.

Dentro de los objetivos fundamentales de un estudio petrográfico se puede mencionar:

- Determinar la naturaleza de los materiales constitutivos del concreto y la manera en que cada componente aporta a las propiedades físicas del mismo.
- Conocer el efecto de la mineralogía y estructura cristalina de los agregados en la resistencia del concreto. De la naturaleza del contacto entre los agregados y la pasta de cemento depende en gran medida el comportamiento y desempeño del concreto en una estructura.

Los agregados comprenden cerca de tres cuartas partes del volumen de una mezcla de concreto, de manera que su mineralogía, tamaño máximo, gradación, forma y textura superficial tienen influencia sobre las propiedades del concreto. Por lo que se debe concentrar la atención durante la descripción de los agregados, en aquellos que tienen un efecto potencial en las propiedades del concreto. Se debe identificar los constituyentes indeseables o potencialmente nocivos, incluyendo intraclastos de arcilla, mica libre, yeso, pirita y materiales reactivos a los álcalis.



## **2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES.**

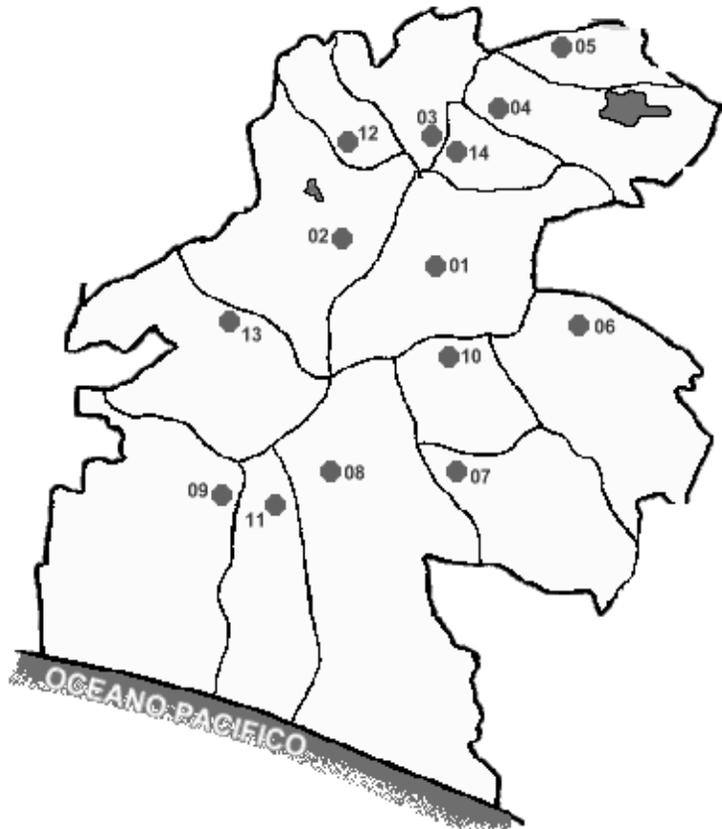
### **2.1. Localización**

El departamento de Santa Rosa se encuentra situado en la región IV Sur Oriente, con base al Artículo 225 (Consejo Nacional de Desarrollo Rural y Urbano) de la Constitución Política de la Republica de Guatemala, promulgada en 1,985. Su cabecera departamental es Cuilapa, limita al Norte con los departamentos de Guatemala y Jalapa; al Sur con el Océano Pacífico; al Este con el departamento de Jutiapa y al Oeste con el departamento de Escuintla. Se ubica en la latitud Norte  $14^{\circ} 16' 42''$  y longitud Oeste  $90^{\circ} 18' 00''$ ; cuenta con una extensión territorial de 2,955 kilómetros cuadrados. Por su variada configuración geográfica presenta alturas que van desde cero en la costa hasta 1,330 metros sobre el nivel del mar (SNM), con un clima que va desde frío hasta el cálido en la costa del Océano Pacífico.

División política del departamento de Santa Rosa

1. Cuilapa, 2. Barberena, 3. Santa Rosa de Lima, 4. Casillas, 5. San Rafael Las Flores 6. Oratorio, 7. San Juan Tecuaco, 8. Chiquimulilla, 9. Taxisco, 10. Santa María Ixhvatán 11. Guazacapán, 12. Santa Cruz Naranjo, 13. Pueblo Nuevo Viñas, 14. Nueva Santa Rosa. Ver Figura 4.

**Figura 4. Ilustración división política del departamento de Santa Rosa**



Fuente: Diccionario Municipal de Guatemala. Comisionado Presidencial para la Modernización y Descentralización del Estado (COMODES). 2002.

#### Hidrografía del departamento de Santa Rosa

Su sistema hidrográfico corresponde a la vertiente del Océano Pacífico, destacan el río Los Esclavos y el río Aguacapa, ambos importantes por aprovecharse su potencial generador de Energía Eléctrica. Además se identifican otros ríos de menor caudal, entre los que destacan Margaritas, El Pajal y El Jobo que en la zona costera son utilizados para fines de irrigación, especialmente en los municipios de Taxisco y Chiquimulilla donde se dispone de sistemas de acequias y quíneles para su distribución.

Como cuerpos de agua permanentes destacan las lagunas de Ayarza, con área mayor de 1,400 hectáreas y más de 300 metros de profundidad, localizada en el límite de los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores; El Pino con un área de 74 hectáreas y no más de 15 metros de profundidad, localizada en el límite de los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo.

**Tabla III. Cuencas hidrográficas del departamento de Santa Rosa**

Municipio	Cuenca
Barberena	Río Los Esclavos
	Río María Linda
Casillas	Río Los Esclavos
	Río Ostúa- Güija
	Río Paz
Chiquimulilla	Río Los Esclavos
	Río Paso Hondo
	Río Paz
Cuilapa	Río Los Esclavos
	Río María Linda
Guazacapán	Río Paso Hondo
Nueva Santa Rosa	Río Los Esclavos
Oratorio	Río Los Esclavos
	Río Paz
Pueblo Nuevo Viñas	Río Los Esclavos
	Río María Linda
	Río Paso Hondo
San Juan Tecuaco	Río Los Esclavos
San Rafael Las Flores	Río Los Esclavos
Santa Cruz Naranjo	Río Los Esclavos
	Río María Linda
Santa María Ixhutatán	Río Los Esclavos
Santa Rosa de Lima	Río Los Esclavos
Taxisco	Río María Linda
	Río Paso Hondo

Fuente: Diccionario Municipal de Guatemala. COMODES. Cuarta Edición. 2002



## Descripción orográfica del departamento de Santa Rosa

El Departamento de Santa Rosa participa en la zona orográfica meridional del país. La cordillera principal se compone de cerros formados por rocas eruptivas que causan hundimientos en el descenso de las montañas hacia el litoral.

Santa Rosa se inicia en las estribaciones de la Sierra Madre y los volcanes Cerro Redondo y Jumaytepeque, baja hasta los volcanes Cruz Quemada y Tecuamburro y se extiende al sur en el Canal de Chiquimulilla y las playas de Monterrico, Papaturo, Las Lisas y El Ahumado.

Posee dos zonas topográficas, la norte de superficie montañosa que se ubica sobre la Sierra Madre y la sur que corresponde a la costa y bocacosta, con extensas planicies y valles que culminan en las playas del Océano Pacífico.

Los bancos bajo estudio se ubican en el departamento de Santa Rosa , los tres bancos son explotaciones formales, explotan el río los Esclavos o alguno de sus afluentes, el método de explotación que es muy similar en cada una de ellas, consiste en cavar una trinchera en el lecho del río, donde es atrapado debido a su peso el material que arrastra el río, desde donde es extraída con maquinaria pesada, que la deposita inicialmente en un montículo para su secado y posteriormente es llevado a una cinta transportadora hacia una trituradora o tamiz según sea el caso, estos bancos están ubicados en las siguientes localidades:

- Banco Uno: SIGMA Constructores, S.A. ubicada en la finca la Sonrisa en el Municipio de Cuilapa Ingreso en la ruta CA-1 (Carretera Interamericana) Km. 91.5, Explota agregado fino.

- Banco dos: AGREGUA denominada TYRSA los Esclavos se encuentra en la aldea el Cielito municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa Ingreso sobre la ruta CA-1 (Carretera Interamericana) Km. 98, explota agregado fino y grueso.
- Banco tres: Trituradora Las Cañas: Ubicada en la aldea Amberes en el municipio de Santa Rosa ingreso en la ruta RD-9 Kilómetro 66 (Ruta de Barberena Hacia Casillas), Explota agregado fino y grueso.

**Figura 6. Mapa de ubicación de los tres bancos analizados en el departamento de Santa Rosa.**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional – IGN-

**Figura 7. Ubicación por fotografía aérea de banco uno Sigma Constructores y banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”**



Fuente: Imágenes Digital Globe 2009.

**SIMBOLOGIA**



Banco Uno Sigma Constructores



Banco Dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”

**Figura 8. Ubicación por fotografía aérea del banco tres Piedrinera “Las Cañas”**



Fuente: Imágenes Digital Globe 2009.

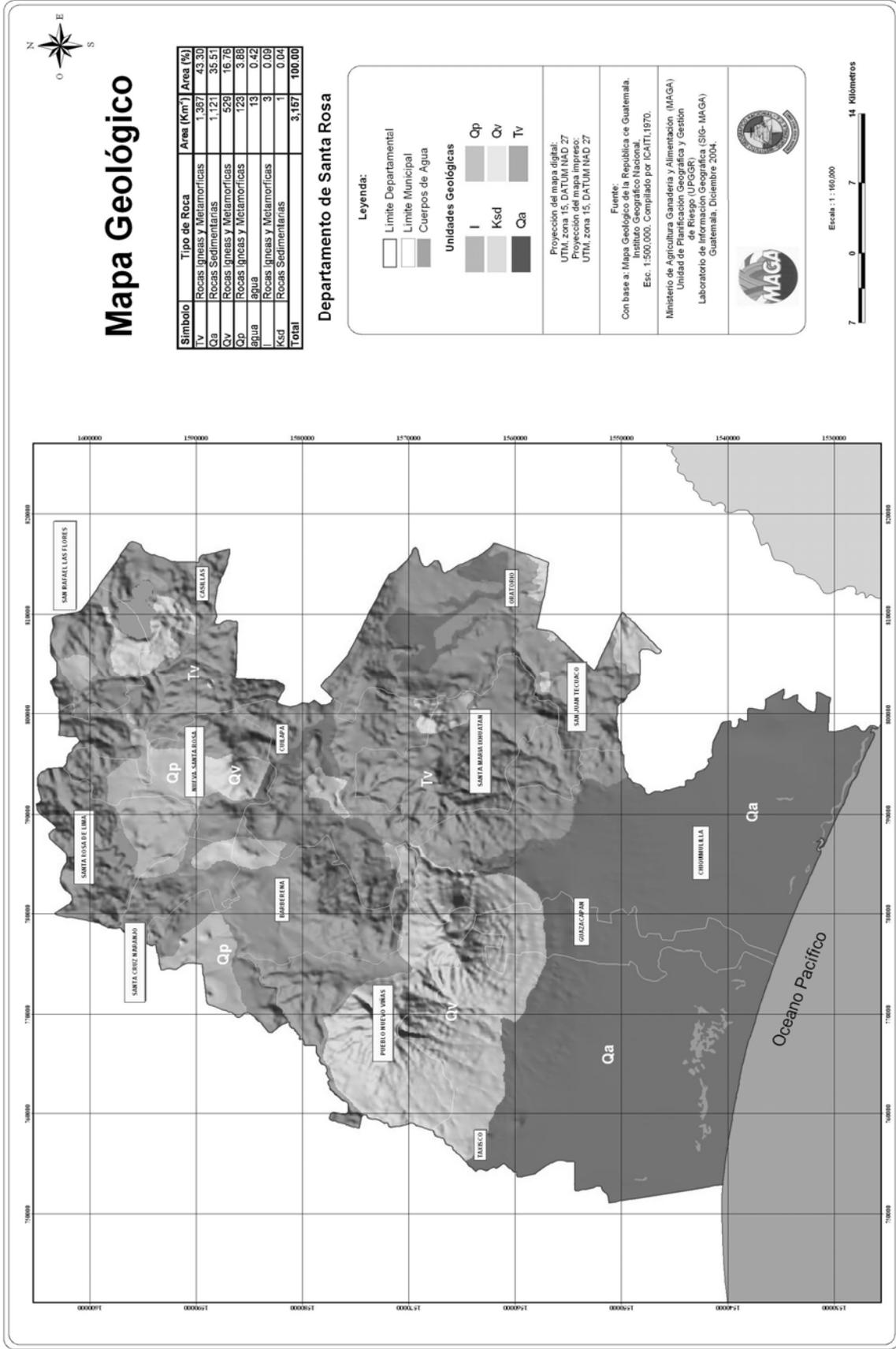
## **2.2. Descripción geológica de los bancos**

Tipos de suelo que sobresalen en el departamento de Santa Rosa: (ver Figura 9).

- Qa. Aluviones Cuaternarios.
- Tv. Terciario. Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Piloceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.
- Qv. Cuaternario. Rocas volcánicas, incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos.
- Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos de dioritas de edad pre-pérmico. Cretácico y Terciario.
- Ksd. Cretácico: Carbonatos Neocomiano-Campanianos. Incluye formaciones Cobán, Ixcoy, Campur, sierra Madre y Grupo Yojoa.

Los bancos en estudio están compuestos de material de arrastre del río Los Esclavos, que es roca de origen volcánico, rocas ígneas, andesitas, silicios, dolomitas, pómez y basaltos. La composición petrográfica de cada banco y agregado, fue analizada y clasificada en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM- de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 5. Mapa geológico de departamento de Santa Rosa



Fuente. Instituto Geográfico Nacional (IGN)



### **3. NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS**

Las especificaciones normadas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) establece los parámetros necesarios, que deben cumplir los agregados para ser considerados apropiados para su utilización en mezclas de concreto. Por lo que a continuación se menciona cada uno de los ensayos y sus respectivas normas.

#### **3.1 Análisis de las propiedades físicas de los agregados.**

Las propiedades físicas de los agregados, son significativas en la tecnología del concreto. Componiéndose entonces, los agregados para concreto de partículas de peso específico elevado, de textura y forma apropiada, libres de sustancias y partículas dañinas, y que proporcionen una granulometría adecuada; se lograra un concreto de buena calidad.

Sustancias o partículas defectuosas, adheridas o mezcladas con los agregados, restan calidad y resistencia al concreto, para lo cual se deben fijar límites permisibles de tolerancia, los cuales están contenidos en la Especificación normada de agregados para concreto, ASTM C-33-08.

##### **3.1.1. Descripción general de la norma ASTM C-33-08**

ASTM C-33-08, es la designación de la especificación normada de agregados para concreto, cuyas especificaciones estipula los requisitos para granulometría y calidad de agregado fino y grueso, distinto del agregado liviano o pesado. Es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de los concretos.

La norma proporciona parámetros para comprobar que los agregados especificados puedan o no ser utilizados, basándose en su granulometría, propiedades físicas, o combinación de ellas. Con respecto al análisis de las propiedades físicas, estas describen características tales como sustancias perjudiciales, absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario, que a continuación se detallan.

### **3.1.1.1. Agregado fino**

Siguiendo las especificaciones de la norma, los agregados finos consistirán en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas. Para el caso particular de este análisis, las muestras de los dos bancos de agregado fino, consisten en arena natural.

#### **3.1.1.1.1. Granulometría (Ensayo para agregado fino)**

El análisis granulométrico consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño de grano. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08. El procedimiento para efectuar el ensayo es el siguiente.

- Se necesita una balanza de 1 kg y 0.1 g de sensibilidad, una báscula de 125 kg de capacidad, un juego de tamices de 203 mm (8 pulgadas) de diámetro de los números 4, 8, 16, 30, 50 y 100; así como fondo y tapa. Bandejas y cápsulas de lámina, brocha o cepillo de cerda, cepillo de alambre.
- Se cuartea la muestra total de arena seca hasta obtener 500 gramos con una aproximación de 0.1 gramos.

- Se coloca la serie de tamices superpuestos colocándolos de abajo, hacia arriba (iniciando con el fondo), con número de tamiz de mayor a menor (del No. 4 al No. 100)
- Se vierte el material en el tamiz superior (No. 4) y se procede a colocar las mallas con el material en la tamizadora por 10 minutos.
- Se comprueba que cada tamiz ha dado paso a todo el material menor que su abertura, las proporciones retenidas se colocan en recipientes por separado.
- Se pesa el retenido en cada tamiz, cuidando de no perder material, en el proceso de pesado.
- Los tamices deberán quedar limpios después de vaciar su contenido y para esto, se utilizará el cepillo de alambre (tamices mayores de No. 30 o la brocha o cepillo de cerda (tamices menores de No. 30).
- Se pesa cada uno de los retenidos obtenidos del tamizado con aproximación de 0.1 g en el orden de tamaños y se hace un registro de estos.

La suma final de los pesos debe coincidir con el peso inicial de la muestra, la pérdida de material no debe exceder el dos por ciento (2 gramos), por esta razón, se conservan por separado las distintas porciones después de pesadas para el caso en que sea necesario comprobar los pesos obtenidos.

El módulo de finura de la arena se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados retenidos de los tamices No. 4 al No. 100 inclusive, dividido entre

100. La arena se clasifica de acuerdo a la tabla IV. Normalmente para concreto debe usarse arena con un módulo de finura, entre 2.2 y 3.2 prefiriéndose arena media.

**Tabla IV. Clasificación de la arena por su módulo de finura.**

<b>Tipo de arena</b>	<b>Módulo de finura</b>
Gruesa	2,9 - 3,2
Media	2,2 - 2,9
Fina	1,5 - 2,2
Muy fina	1,5

Fuente: Norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

### 3.1.1.1.2. Sustancias perjudiciales

La cantidad de sustancias perjudiciales en el agregado fino, no debe exceder los límites descritos en la tabla V.

**Tabla V. Límites de sustancias nocivas en agregados finos**

<b>Substancia</b>	<b>Efectos dañinos posibles en el concreto</b>	<b>Máximo permitido (% en peso)</b>
		<b>Agregado fino</b>
Material más fino que el tamiz 75 $\mu\text{m}$ (No. 200) Concreto sujeto a la abrasión Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad: aumenta el requerimiento de agua	3* 5*
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la resistencia a la abrasión	3
Carbón y lignito Donde la apariencia de la superficie del concreto es importante Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad; cusa manchas	0,5 1

Fuente: Normas de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

\* En el caso de arena fabricada, si el material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  consiste en polvo de la fractura, libre esencialmente de arcilla o pizarra, estos límites pueden aumentar a 5 y 7 % respectivamente.

### **3.1.1.1.3. Impurezas orgánicas**

La materia orgánica es una de las sustancias perjudiciales en el agregado fino y debe conocerse su contenido, ya que afecta la hidratación y adherencia del cemento con los agregados, y si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia del concreto.

Los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados. El máximo permisible de acuerdo a la norma es el número 3. La utilización de un agregado fino que ha fracasado en el ensayo no está prohibida, siempre que la decoloración se deba principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas discretas similares.

El agregado fino para utilizar en concreto que estará sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica, o contacto con terreno húmedo no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento en una cantidad suficiente para causar expansión excesiva del mortero o del concreto, excepto que si dichos materiales están presentes en cantidades perjudiciales, la utilización de agregado fino no está prohibida cuando se utilice con un cemento que contenga menos del 0.60 % de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio o con la incorporación de un material que haya demostrado evitar la expansión nociva debida a la reacción álcali-agregado.

El ensayo más utilizado para la determinación de materia orgánica es la prueba colorimétrica, descrita a continuación.

- Se necesitan recipientes de vidrio de 250 ml a 350 ml, con tapón y marcas cada 25 ml. Una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio) al 3% (30 g de soda por litro de agua; o 3 g por cada 100 ml de agua), un colorímetro, balanza de 1 kg de capacidad.
- Se toma una muestra representativa de arena a ensayar y se pesan aproximadamente entre 120g y 150g (arena seca al ambiente).
- Se pone la arena en el recipiente de vidrio, hasta la marca de 125 ml.
- Se agrega la solución de soda cáustica hasta el volumen de arena y líquido, una vez agitados, se llena hasta la marca de 200 ml.
- Se tapa el recipiente con tapón de hule o plástico, se agita vigorosamente durante 2 minutos, y se deja reposar durante 24 horas.
- Transcurrido ese tiempo, se compara por transparencia el color del líquido que se encuentra sobre la arena con el colorímetro. Este último instrumento tiene 5 colores de diferente tono que conforme el número aumenta, también lo hace la coloración. Entre más oscuro es el color más contenido de materia orgánica que posee la muestra.

Si el líquido es más claro que el primer color del colorímetro, esto indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado, y la arena es aceptable.

Si el líquido es de un color más oscuro que el normal, el contenido de materia orgánica posiblemente es superior al líquido aceptable y la arena deberá ser estudiada más detenidamente. Se recomienda lavar la arena, y hacer nuevamente la prueba. Si el color baja, esto confirma que sí hay materia orgánica y la arena deberá lavarse o neutralizar la materia orgánica que contiene, antes de usarla en concreto (puede usarse una solución al 1% de cal). Si se obtiene nuevamente el mismo color oscuro o superior al límite, aún después de lavados sucesivos, esto indica que el color posiblemente no es motivado por materia orgánica, sino por otras sustancias minerales que produzcan coloración (minerales de hierro, manganeso o carbón mineral), los cuales no son perjudiciales.

#### **3.1.1.2. Agregado grueso**

Continuando con las especificaciones de la norma, el agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos.

El concreto de cemento hidráulico triturado ha sido utilizado como un agregado de resultados dictaminados como satisfactorios, su utilización puede exigir algunas precauciones adicionales. Los requisitos del agua de mezclado pueden ser incrementados debido a la aspereza del agregado. El concreto parcialmente deteriorado, utilizado como agregado, puede reducir la resistencia al congelamiento-descongelamiento, afectar las propiedades de vacíos de aire o degradarse durante la manipulación, mezclado o colocado. El concreto triturado puede tener componentes que sean susceptibles a reactividad álcali-agregado o al ataque de sulfatos en el nuevo concreto o puede traer sulfatos, cloruros, o material orgánico al nuevo concreto en su estructura de poros.

Para el caso particular de este análisis, la muestra del banco de agregado grueso, consiste en piedra triturada.

#### **3.1.1.2.1. Granulometría (Ensayo para agregado grueso)**

El análisis granulométrico consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño de grano. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08. El procedimiento para efectuar el ensayo es el siguiente.

- Se necesita una balanza de 1 kg y 0.1 g de sensibilidad, báscula de 150 kg de capacidad, un juego de tamices de 305 mm o 406 mm (12 ó 16 pulgadas) de diámetro, con abertura de 9.51 mm, 12.7 mm, 25.4 mm, 38.1 mm, 50.8, 46.0 mm y 76.1 mm (3/8", 3/4", 1", 1 1/2", 2" y 3"), bandejas y cápsulas de lámina, brocha o cepillo de cerda, cepillo de alambre.
- Para el análisis del agregado, se requiere una muestra seca aproximadamente de 2.5 kg obtenida por cuarteo.
- La muestra se tamiza en mallas especificadas individualmente, separando en bandejas los retenidos correspondientes. Se deberá tener cuidado de que no queden partículas apisonadas entre las mallas.
- Una vez separado el material, se procederá a pesar cada porción en bandejas taradas (cuyo peso se conoce).
- Los pesos retenidos, se registran en la misma forma que para el agregado fino, y se calculan los porcentajes retenidos parciales y acumulados.

La suma de los pesos debe coincidir con el peso total de la muestra, con aproximación menor de 1 g, por esta razón, se conservan por separado las distintas porciones después de pesadas, para el caso en que sea necesario comprobar los pesos obtenidos.

#### **3.1.1.2.2. Sustancias perjudiciales**

La cantidad de sustancias perjudiciales en el agregado fino, no debe exceder los límites pre-escritos en la tabla VI.

La materia orgánica es una de las sustancias perjudiciales en el agregado grueso al igual que se explico en el agregado fino y debe conocerse su contenido, ya que afecta la hidratación del cemento y si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia del concreto.

El agregado grueso para utilizar en concreto que estará sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica, o en contacto con terreno húmedo no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento en una cantidad suficiente como para causar expansión excesiva del mortero o del concreto excepto que si dichos materiales están presentes en cantidades perjudiciales, la utilización de agregado grueso no está prohibida cuando se utilice con un cemento que contenga menos del 0.60 % de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ ) o con la incorporación de un material que haya demostrado evitar la expansión nociva debida a la reacción álcali-agregado.

**Tabla VI. Límites de sustancias nocivas en agregados gruesos.**

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de concreto	Máximo admisible, %				
		Terrones de arcilla y partículas friables	Horsteno (menos de 2.40 sp gr SSD)	Suma de terrones de arcilla, partículas friables y horsteno (menos de 2.40 sp gr SSD)	Material más fino que el tamiz 75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	Carbón y Lignito
<b>Regiones de intemperización severa</b>						
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0			1.0 <sup>C</sup>	1.0
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	...	...	1.0 <sup>C</sup>	0.5
3S	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5
4S	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garaje, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	3.0	5.0	5.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5
5S	Concreto arquitectónico expuesto	2.0	3.0	3.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5
<b>Regiones de intemperización moderada</b>						
1M	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0	...	...	1.0 <sup>C</sup>	1.0
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	...	...	1.0 <sup>C</sup>	0.5
3M	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	8.0	10.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5
4M	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garaje, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>C</sup>	0.5
5M	Concreto arquitectónico expuesto	3.0	3.0	5.0	1.0 <sup>C</sup>	1.0
<b>Regiones de intemperización insignificante</b>						
1N	Losas sujetas a abrasión de tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5.0	...	...	1.0 <sup>C</sup>	0.5
2N	Todas las otras clases de concreto	10.0	...	...	1.0 <sup>C</sup>	1.0

Fuente: Norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

El ensayo más utilizado para la determinación de materia orgánica es la prueba colorimétrica, descrita a continuación.

- Se necesitan recipientes de vidrio de 250 ml a 350 ml, con tapón y marcas cada 25 ml. Una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio) al 3% (30 g de soda por litro de agua; o 3 g por cada 100 ml de agua), un colorímetro, balanza de 1 kg de capacidad.
- Se toma una muestra representativa de agregado grueso (seco al ambiente) a ensayar, y se pesan aproximadamente 500g.
- Se pone el agregado en el recipiente de vidrio, hasta la marca de 125 ml.
- Se agrega la solución de soda cáustica hasta el volumen del agregado y líquido, una vez agitados, se llena hasta la marca de 200 ml.
- Se tapa el recipiente con tapón de hule o plástico, se agita vigorosamente durante 2 minutos, y se deja reposar durante 24 horas.
- Transcurrido ese tiempo, se compara por transparencia el color del líquido que se encuentra sobre el agregado con el colorímetro. Este último instrumento tiene 5 colores de diferente tono que conforme el número aumenta, también lo hace la coloración. Entre más oscuro es el tono de vidrio del colorímetro al cual se asemeja el color del líquido más contenido de materia orgánica posee la muestra.

Si el líquido es más claro que el primer color del colorímetro, esto indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado, y el agregado grueso es aceptable.

Si el líquido es de un color más oscuro que el normal, el contenido de materia orgánica posiblemente es superior al líquido aceptable y el agregado grueso deberá ser estudiado más detenidamente. Se recomienda lavar el agregado, y hacer nuevamente la prueba. Si el color baja, esto confirma que sí hay materia orgánica y el agregado deberá lavarse o neutralizarse la materia orgánica que contiene, antes de usarlo en concreto (puede usarse una solución al 1% de cal). Si se obtiene nuevamente el mismo color oscuro o superior al límite, aún después de lavados sucesivos, esto indica que el color posiblemente no es motivado por materia orgánica, sino por otras sustancias minerales que produzcan coloración (minerales de hierro, manganeso o carbón mineral), los cuales no son perjudiciales.

### **3.1.1.3. Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario**

#### **3.1.1.3.1. Absorción y contenido de humedad**

La absorción es la cantidad de agua capaz de ser tomada por un material después de 24 horas de inmersión y se expresa como un porcentaje del peso seco del material. A continuación se describe el procedimiento del ensayo.

Absorción de agregado fino.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad, un recipiente o bandeja, un molde especial de lámina galvanizada, de 90 mm de diámetro inferior y 40 mm de diámetro superior por 75 mm de altura. Un apisonador metálico de 440 g de peso y 25.4 mm de diámetro, una placa de vidrio o de otro material no absorbente, un horno cuya temperatura no sobrepase los 115°C.

- Se toma la muestra que se dejó en agua por 24 horas y se escurre el agua sobrante.
- Se extiende el material sobre la placa de vidrio.
- Se remueve frecuentemente hasta considerar que solo haya perdido agua superficial.
- Se llena el molde cónico.
- Se compacta suavemente con 25 golpes del apisonador.
- Se enrasa la arena al borde del molde con la cuchara.
- Se levanta el molde y se observa el comportamiento de la arena moldeada. Si al quitar el molde no se disgrega la arena y la parte superior de la arena moldeada queda plana, se repiten los pasos del 2 al 7 hasta que al quitar el molde, se desparrame la arena y forme un cono, lo que indicará que ya se encuentra seca la superficie de la arena (seco saturado).
- Se pesan 500 g de arena seca saturada y se anota el peso.
- Se seca en horno el material (100°C – 110°C) hasta que el peso sea constante. Las pesadas se hacen con material frío.
- Se anota el peso seco y se calcula la absorción.

Absorción de agregado grueso.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 b de sensibilidad. Un recipiente o bandeja, un horno cuya temperatura no sobrepase los 115 °C. Un trapo o toallas de papel.
- Se toma la muestra que se dejó 24 horas sumergida, se seca superficialmente, con la franela o toalla de papel.
- Se pesa 1 kg de material y se anota el peso.
- Se seca en el horno hasta obtener un peso constante, haciendo las pesadas en frío.
- Se pesa el material seco, se anota su valor. Y se calcula la absorción.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión para ambos tipos de agregados:

$$\% \text{ Absorción} = ((B - A) / A) * 100$$

Donde, B = peso de la muestra saturada.

A = peso de la muestra seca (peso constante).

A continuación se describe el ensayo del contenido de humedad para agregados finos y gruesos.

La humedad de un agregado, está compuesta por la humedad de saturación (o absorción), y humedad libre o superficial. Para corregir los pesos necesarios de los materiales utilizados para hacer las mezclas de concreto, se necesita conocer el porcentaje de humedad contenida, y el porcentaje de absorción (seco saturado) del agregado.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad, con 0.1 g de sensibilidad. Un plato, recipiente o bandeja pequeña, un horno.
- Se toma una muestra representativa del material por cuarteo, tomando el peso necesario, de acuerdo con la tabla VII:

**Tabla VII. Peso de muestras de agregados para contenido de humedad.**

Tamaño del Agregado		Peso de la muestra
mm	Pulgadas	
Menor a 4,76	Menor a 3/16	200 g
4,76 a 19,0	3/16 a 3/4	500 g
19,0 a 38,1	3/4 a 1 1/2	1 kg
Mayor a 38,1	Mayor a 1 1/2	1 kg

Fuente: Norma de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol.04.02

- Se pesa y se anota el peso real (peso A).
- Se seca el material en el horno a una temperatura de 100°C – 110°C, hasta tener un peso constante. Se pesa una vez se ha enfriado el material y se anota (peso B).
- Luego se procede a calcular el contenido de humedad.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión, para ambos tipos de agregados:

$$\% \text{ humedad} = ((A - B) / A) * 100$$

Donde, A = Peso natural.

B = Peso seco.

### 3.1.1.3.2. Peso específico

El peso específico (densidad), es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada (20°C se toma como temperatura normal). En agregados se toma el peso específico de partículas saturadas de superficie seca. En relación con el ensayo se definen dos métodos para los agregados finos y uno para agregado grueso, los cuales se describen a continuación.

Método A (Método de campo) para agregados finos y gruesos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un bote vertedor de 15 ó 20 litros de capacidad, bandeja o charola, cucharón, y un cilindro graduado de 1000 ml o vasos de vidrio.
- Se afora el bote vertedor con agua potable limpia.
- Se pesan 5 kg de material saturado (de superficie seca).
- Se vierte el material poco a poco y procurando no arrastrarse en el bote vertedor.
- Se mide el volumen de agua desalojada al terminar de escurrir el agua, que ha sido recogida con el vaso y vertida en la probeta graduada.

Se calcula el peso específico =  $A / B$

Donde, A = Peso del material usado para la prueba.

B = Volumen total de agua desalojada (expresada en kg, 1 litro = 1 kg).

Si no se consigue un cilindro de vidrio graduado, puede utilizarse un frasco corriente de vidrio, y se pesa el agua recogida, en la balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad.

Método B, aplicable para agregados finos.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad. Un frasco volumétrico de 500 ml de capacidad calibrado a 20 °C, un frasco de 1 litro de capacidad y una placa de vidrio que cubra la boca del frasco. Un recipiente para la muestra (cápsula de porcelana, níquel o aluminio).
- Se determina el peso del frasco lleno de agua hasta la marca de 500 ml o se usa el frasco corriente de 1 litro, se llena de agua hasta el tope y se le pone el vidrio, se anota el peso (peso A).
- Se pesan de 300 g a 500 g de material saturado (de superficie seca), (peso B).
- Se quita agua al frasco volumétrico o del frasco corriente, y se vierte el material saturado poco a poco.
- Se quita el material y agua para eliminar el aire y se echa agua hasta llegar al nivel original (marca de 500 ml) o si se usa el frasco corriente hasta llenar el frasco, el cual se cubre con el vidrio. Se pesa el frasco, agua y material (peso C)
- Se calcula el peso específico.

$$\text{Peso específico} = B / (A + B - C)$$

Precauciones:

- Estar seguro de tener la muestra sumergida antes de sacudir para eliminar el aire.
- El exterior del frasco debe estar seco antes de pesar.
- Asegurarse que todas las burbujas de aire han salido del frasco y que este está lleno hasta la marca o hasta el tope y con el vidrio puesto antes de pesar.
- Utilizar si es posible un cuentagotas (o pipeta) para añadir pequeñas cantidades de agua y evitar así, que se moje el exterior del frasco.
- Los pesos A y C deben ser tomados con el agua a la misma temperatura (dentro de un margen de 1 °C).

#### **3.1.1.3.3. Peso unitario**

El peso unitario aparente o peso volumétrico es la relación entre peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m<sup>3</sup>. Hay dos valores para esta relación: el peso volumétrico suelto, y el peso volumétrico apisonado. El primero se usa para conversiones de peso a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. El segundo se usa para conocer el volumen de materiales apilados. En ambos casos este peso se obtiene con material en estado seco saturado, para fines de comparación.

En la obra, debe obtenerse el peso unitario en las condiciones de humedad en que está el material en dicho lugar, haciendo las correcciones del caso, para

poder reducir los valores de pesos a volúmenes aparentes en los casos que así se proporcione ingredientes del concreto.

Peso unitario suelto de agregados finos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un cucharón, una pala.
- Medidas de volumen con peso propio conocido (la medida podrá ser de madera de forma cuadrada pero preferiblemente deben ser de hierro, cilíndricas, con su peso propio y volumen conocido)
- Para arena hasta 12.7 mm (1/2") debe usarse una medida no menor de 2.83 litros (1/10 pie<sup>3</sup>).
- Se necesita también una varilla de acero lisa de 16 mm (5/8") con punta redondeada (de bola) y 60 cm de longitud. Una regla metálica para rasar. Una bandeja o recipiente.
- En la medida de 2.83 litros, se vierte la arena dejándola caer con deslizamiento continuo desde una altura de 50 cm del borde de la medida, hasta que llegue a formarse un cono natural cuyos taludes lleguen a la superficie del recipiente.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de arena.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$P.U. \text{ o } P.V. = [ (A - B) / V ] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario apisonado de agregados finos.

- En la medida de 2.83 litros, se llena la medida en 3 capas de material, apisonando cada capa con 25 golpes consecutivos con la varilla; cuidando de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de arena.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$P.U. \text{ o } P.V. = [ (A - B) / V ] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario suelto de agregados gruesos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un cucharón, una pala.
- Medidas de volumen con peso propio conocido.
- Para grava hasta 12.7 mm (1/2") debe usarse una medida no menor de 2.83 litros (1/10 pie<sup>3</sup>).

- Para grava de 38 mm (1 ½”) debe usarse una medida no menor de 14.16 litros (1/2 pie<sup>3</sup>).
- Para grava de 101.6 mm (4”) debe usarse una medida no menor de 28.32 litros (1 pie<sup>3</sup>).
- También se necesita una varilla de acero lisa de 16 mm (5/8”) con punta redondeada (de bola) y 60 cm de longitud. Una regla metálica para rasar, una bandeja o recipiente.
- En la medida, se vierte la grava dejándola caer con deslizamiento continuo desde una altura de 50 cm del borde de la medida, hasta que llene la medida.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de grava.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$P.U. \text{ o } P.V. = [ (A - B) / V ] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario apisonado de agregados gruesos.

- La única diferencia con lo descrito anteriormente, es que se llena la medida en 3 capas de material, apisonando cada capa con 25 golpes consecutivos con la varilla; cuidando de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de grava.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula al igual que el procedimiento anteriormente indicado.

Si la grava es grande, el enrase se hace a mano, acomodando grava entre ellos, pero sin ejercer presión.

### **3.2 Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados.**

En relación a las propiedades mecánicas de los agregados que interesan determinar, se encuentran la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión). El primer caso, concierne al equipo de explotación de los agregados, y en el segundo caso, para los efectos de resistencia en el concreto, sobre todo cuando el agregado se use en pavimentos o aceras. Y es este último al que se le dará énfasis en este apartado.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de “Los Ángeles”, de acuerdo a la especificación ASTM C-131-06. Este ensayo consiste básicamente en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo

especificado, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del cincuenta por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

### **3.2.1. Ensayo de abrasión en la máquina de “Los Ángeles”, ASTM C-131-06**

Este método cubre el procedimiento para ensayo de agregado grueso menores de 1 ½” pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste, que resulta de la combinación de acciones de abrasión o roce, impacto y pulverización en un tambor de metal rotacional que gira a una velocidad comprendida entre 30 a 33 revoluciones por minuto, con un número de 500 vueltas, y un número específico de esferas de acero, que depende del tipo de graduación de la muestra.

#### **3.2.1.1. Resumen del método**

El ensayo en la máquina de “Los Ángeles” es una medida de la degradación de los minerales de los agregados de graduaciones normales. La máquina consiste en un cilindro hueco cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 28 pulgadas y largo interior de 20 pulgadas. Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de una diámetro aproximado de 46.8 mm y cada una pesando entre 390 y 445 gramos.

Mientras el tambor rota, una placa eleva la muestra y las esferas de acero, transportándolas hasta ser soltadas desde la parte opuesta del tambor, crean un efecto de trituración por impacto. El contenido sigue rodando dentro del tambor con una acción de molienda abrasiva hasta que la placa hace impacto y el ciclo se repite. Después de transcurridas las 500 revoluciones preestablecido,

el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada en la malla No. 12, para medir el desgaste como el porcentaje de peso perdido.

### 3.2.1.2. Muestra de ensayo

La muestra de agregado debe estar secada al horno a una temperatura de 105 a 110 °C, hasta obtener un peso constante. La graduación, o graduaciones usadas serán aquellas que representen más adecuadamente el agregado suministrado como muestra. El tipo de desgaste que se le aplicara a la muestra, depende de la graduación de la misma. Para lo cual variará los tamices y el número de esferas a utilizar en el ensayo. Se requiere de 5 kg de la muestra para dicho ensayo. En la siguiente tabla se clasifica el tipo de abrasión según su granulometría.

**Tabla VIII. Tipo de abrasión según granulometría.**

<b>Tipo</b>	<b>Tamices</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>No. De esferas</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
A	1", 3/4", 1/2" y 3/8"	1250 ± 10	12	500	17
B	1/2" y 3/8"	2500 ± 10	11	500	17
C	1/4" y No. 4	2500 ± 10	8	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

Fuente: Norma de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol.04.02

### 3.2.1.3. Procedimiento

- Se encuentra la granulometría con una cantidad representativa para obtener los porcentajes y cantidades retenidas, para identificar el tipo de abrasión.

- Para la graduación escogida se selecciona la carga de bolas a usar en la máquina de Los Ángeles.
- Pesar la muestra de agregado y colocarla en el tambor de la máquina junto con la carga abrasiva.
- Se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm hasta completar 500 vueltas.
- Se saca el material, se pasa por tamiz No. 12.
- El material retenido en el tamiz No. 12 se lava y seca al horno a una temperatura de 105 a 110 °C hasta llegar a un peso constante.
- Se pesan las fracciones retenidas y que pasan el tamiz No. 12.

Se calcula el desgaste por peso: la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra, se expresará en forma de porcentaje del peso original de la muestra de ensayo. Este valor será reportado como porcentaje de desgaste del agregado.

### **3.3 Análisis de las propiedades petrográficas de los agregados.**

La petrografía es una de las ramas de las ciencias geológicas dedicado a la descripción científica y clasificación sistemática de las rocas, a partir de un análisis en el microscopio, en donde se utiliza la mineralogía óptica que es una aplicación de la física de la luz al estudio de los minerales.

La petrografía combina la inspección visual con el examen microscópico usando el estereoscopio, el microscopio petrográfico y el microscopio

metalográfico cuando así lo requiera. La interpretación de lo encontrado proporciona ayuda valiosa en el desarrollo de soluciones prácticas a los problemas que se presentan en las construcciones.

### **3.3.1. Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295-08**

#### **3.3.1.1. Usos de los análisis petrográficos**

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados dependen del uso que se le quiera dar a dicho agregado. En ocasiones la petrografía, puede no ser suficiente para realizar el estudio de los agregados para concreto, y es necesario el complemento de procedimientos como la difracción de rayos X, la cual permite clasificaciones más seguras de minerales poco comunes y arcillas.

La determinación de constituyentes no es el fin último del análisis petrográfico, pero sí permite efectuar muchas conclusiones importantes a nivel práctico. Lo más importante es determinar si hay componentes que puedan afectar el comportamiento de un agregado en una aplicación específica, como por ejemplo, determinar y cuantificar los componentes reactivos potenciales de álcali-sílice y álcali-carbonato y recomendar ensayos que confirmen o no la reacción.

La reacción álcali-sílice es uno de los sistemas del que está comprendida la reacción álcali-agregado, la cual es una de las causas del deterioro del concreto. La reacción se inicia en la superficie del agregado y se produce en la interface con la pasta de cemento formando un gel que toma agua y se dilata creando presiones internas que lleva a la rotura del material.

Usualmente, se parte por la investigación petrográfica de los agregados para lo cual se cuenta con la Guía normada para examen petroográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08. Sin embargo, este procedimiento no sólo requiere experiencia en los técnicos que lo aplican, sino es limitado, pues únicamente produce resultados de orientación.

Un método de estudio, sobre el que existe importante conocimiento es el método químico que determina la reactividad potencial de los agregados, norma ASTM C-289-07. Esta norma es de extendida aplicación por su rapidez y solución de hidróxido de sodio cuando se encuentran en contacto con el agregado para concreto, determinándose la calidad de sílice disuelta. A continuación se presentan los lineamientos de la Guía normada para examen petroográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08.

#### **3.3.1.2. Selección de las muestras para el examen**

La toma de muestras debe realizarse conforme a los requerimientos para muestreo aleatorio de agregados para concreto, debiendo considerarse la localización, la geología y otros datos importantes del sitio donde se sustrajo la muestra.

Las muestras se tamizan en seco para obtener muestras de cada tamaño de tamiz. En caso de arenas, se toma una porción adicional a ensayarse con lavado de agua para que sea tamizado y removido por secado, para proporcionar un muestreo del material que pasa el tamiz No. 200.

Los resultados del análisis de tamices de cada muestra se deben adjuntar al examen petroográfico. Cada fracción tamizada será examinada por separado, iniciando con el tamaño mayor para facilitar su identificación; puede necesitarse

el uso del microscopio estereoscópico para facilitar la identificación de pequeñas partículas, o el uso del microscopio petrográfico.

La reducción de partículas de cada fracción tamizada se realiza por medio de cuarteos hasta obtener un mínimo de 150 partículas; del número de partículas depende el grado de precisión que se requiera, el cual se contará al iniciarse el examen, luego de identificarse las partículas, se deben contar nuevamente.

### **3.3.1.3. Examen de la grava natural**

Las gravas se examinan para establecer si presentan revestimiento externo, si existe, se determinará si consiste en materiales potencialmente dañinos para el concreto y que tan firme es el revestimiento. Si cada fracción tamizada puede clasificarse fácilmente, dentro de los tipos de rocas, mediante un examen visual, rayado y prueba de ácido, las demás identificaciones pueden omitirse. Las rocas de grano fino que no se pueden identificar macroscópicamente y que pueden contener componentes dañinos para el concreto, serán examinadas mediante microscopía petrográfica.

Las características físicas más importantes que deben describirse son las siguientes:

- Forma de las partículas
- Superficie de la partícula, textura
- Tamaño del grano
- Estructura interna, porosidad, cementación de los granos
- Color
- Composición mineralógica
- Heterogeneidad significativa
- Condición física general del tipo de rocas de la muestra

- Revestimiento o incrustaciones
- Presencia de componentes reactivos dañinos en el concreto

#### **3.3.1.4. Exámenes de la arena natural**

Estos exámenes son similares a los de la gravas, con la diferencia que se requiere el uso del microscopio estereoscópico, disco de Petri, pinzas y aguja de disección.

Para granos más finos que 600 micrones (tamiz No. 30) se reducen por cuarteo a aproximadamente 4 ó 5 gramos, el volumen será normalmente menor que una cucharadita rasa, tomando en cuenta que el número de partículas no debe ser menor de 150. El examen puede realizarse como el de los granos superiores al tamiz de 600 micrones (No. 30) y si es posible, auxiliarse con el microscopio petrográfico.

#### **3.3.1.5. Examen del núcleo de perforación**

Se debe hacer un registro de cada núcleo, con los siguientes datos: longitud, recuperación, localización; localización y espaciamiento de diaclasas; tipo o tipos litológicos; alternación de los tipos; condición y su variación física, tenacidad, dureza, coherencia; porosidad obvia; tamaño y textura del grano y sus variaciones; tipo o tipos de ruptura y presencia de componentes capaces de reaccionar potencialmente en deterioro del concreto.

Si el tamaño del testigo lo permite, debe considerarse la probabilidad de que la roca se convierta en agregado del tamaño requerido. Si se humedece la superficie del testigo, es más fácil reconocer características significativas y cambios en su litología. La mayoría de la información requerida normalmente, se obtiene por un cuidadoso examen visual, pruebas de rayado y de ácido, o golpeando el núcleo con un martillo.

En caso de rocas de granulometría fina, puede ser necesario examinar partes del núcleo, para preparar secciones delgadas de porciones seleccionadas o utilizar el microscopio estereoscópico. Algunas consideraciones y procedimientos son más aplicables a algunas rocas particulares que a otras.

#### **3.3.1.6. Examen de la roca expuesta**

El procedimiento a utilizar es el mismo que para las muestras de núcleo, hasta el punto que el espaciamiento de muestras y tamaños de piezas individuales lo permitan. Si la muestra consiste en cantidades relativamente grandes de roca fracturada por explosión, es recomendable inspeccionarla toda, estimando la cantidad relativa de tipos de rocas, variedades presentes y muestrear cada tipo antes de procesos adicionales. El procedimiento subsiguiente deberá ser el mismo que se da para la roca triturada.

#### **3.3.1.7. Examen de la roca triturada**

El procedimiento para este examen es similar al del núcleo, excepto que son necesarios datos cuantitativos que deben ser obtenidos por conteo de partículas, como se describe en la sección de grava y arena natural.

#### **3.3.1.8. Examen de la arena manufacturada**

El procedimiento debe ser igual al de la arena natural, con énfasis sobre la cantidad y extensión de fracturación y la cantidad y naturaleza del polvo de roca desarrollado por la operación de trituración. Si una muestra de la roca de la cual la arena fue producida está disponible, el examen de ésta proveerá información de mucha utilidad.

### **3.3.1.9. Cálculos e informe**

Se procede a calcular la composición de cada fracción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderado de toda la muestra como se describe a continuación:

- Se expresa la composición de cada fracción retenida en los tamices, por la suma del número total de partículas de la fracción contada y calculando cada componente en cada condición como un porcentaje de la cantidad total (como número de partículas en porcentaje, en cada fracción de tamiz). Es conveniente calcular y registrar los porcentajes por docenas en esta presentación.
- El porcentaje de peso de la fracción retenida en cada tamiz de la muestra completa (porcentajes individuales retenidos sobre tamices consecutivos) se obtiene al multiplicar los porcentajes de los componentes en la fracción tamizada, (determinada y descrita anteriormente), por los porcentajes de la fracción tamizada de la muestra completa, se calculan los porcentajes de la muestra completa de ese componente, de ese tamaño y el porcentaje pesado de los componentes de la fracción tamizada. Es conveniente el cálculo y el registro de estos porcentajes expresados en intervalos del 10 %.
- Se construye una tabla para representar la composición de cada fracción tamizada y los pesos de la composición de la muestra completa. Se reportan los valores aproximados a números enteros y las cantidades de componentes menores del 5% de la fracción tamizada o de la muestra completa, como residuos.

- Como una convención, el total de cada fracción tamizada y el total de la muestra completa, será cada uno el 100 %, no incluyendo los residuos.

Con respecto al reporte del examen petrográfico, éste debe contener los datos necesarios para identificar la muestra, la fuente, el propósito de uso, e incluye una descripción dando la composición y propiedades del material.

El informe debe incluir los procedimientos empleados en la prueba, y una descripción de la naturaleza y las características de cada constituyente importante de la muestra, acompañado de tablas y fotografías según sea necesario. Los hallazgos y conclusiones deben ser expresados en términos comprensibles para quienes deben tomar las decisiones de conveniencia del material a ser usado como agregado para concreto.

Cuando en una muestra han sido encontradas propiedades o constituyentes conocidos por sus características dañinas al concreto, éstos deben ser descritas cualitativamente, y su posible magnitud de forma cuantitativa. Los efectos desfavorables que se espera sucedan deben mencionarse, así como incluir recomendaciones considerando un examen petrográfico adicional, químico, físico, o investigación geológica, que deba ser necesaria para evaluar propiedades adversas que fueron indicadas en el examen petrográfico.

### **3.4 Análisis de las propiedades químicas de los agregados.**

El estudio de la reacción álcali-agregado cuya manifestación más frecuente y conocida es la reacción álcali-sílice, es uno de los análisis de las propiedades químicas de los agregados, dentro de la tecnología del concreto. Esta reacción, que en casos extremos puede ocasionar serios problemas estructurales y económicos, sólo puede generarse en estructuras construidas con un concreto elaborado a partir de un conjunto de materiales componentes (Cemento Pórtland, agua, agregados, adiciones minerales y aditivos) capaces de

combinarse químicamente y formar un compuesto denominado gel de reacción álcali-sílice, que en presencia de humedad dicho gel se expande, manifestándose con agrietamiento y movimientos diferenciales.

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones dañinas con sustancias alcalinas en un concreto. Estas reacciones pueden ser lentas o tardías, y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando éstos entran en contacto con el agua, posteriormente al combinarse con sílice hidratada generan un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50 %. Este cambio de volumen produce fisuras en los agregados y la matriz de cemento, provocando mal desempeño en la función estructural del concreto y en casos severos puede darse incluso explosiones internas.

Cuando se trata de rocas carbonáticas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca micro fracturas, generando en el proceso carbonato de potasio.

Para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de Cemento Pórtland, a corto, mediano o largo plazo, es de mucha utilidad el Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07, el cual es un análisis complementario para confirmar los resultados obtenidos del examen petrográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08.

### **3.4.1. Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07**

#### **3.4.1.1. Aplicación y uso**

Este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con Cemento Pórtland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80 °C, entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase por un tamiz No. 50 y quede retenido en un tamiz No. 100. Cumplidas las 24 horas se mide la cantidad de sílice disuelta desde el agregado para concreto y la reducción en alcalinidad de la disolución. Este ensayo sólo identifica agregados altamente reactivos.

Reacciones entre una solución de hidróxido de sodio y agregado silícico han demostrado correlación con el desempeño del agregado en estructuras de concreto, por lo que debe ser usado cuando nuevas fuentes de agregados están siendo evaluadas o la reactividad álcali-sílice puede ocurrir.

Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente, y aunque no son completamente fiables en todos los casos, proveen datos valiosos que pueden mostrar la necesidad de obtener información adicional a través de la norma ASTM C-227, método de la barra de mortero.

#### **3.4.1.2. Selección y preparación de la muestra**

Este ensayo es aplicable tanto a agregados finos como gruesos; cuando los agregados finos y gruesos provengan del mismo material, puede aplicarse para el agregado total.

La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado triturándolo hasta que pase el tamiz de 300 µm (No. 50), de acuerdo

al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150  $\mu\text{m}$ . Descartar el material que pase por el tamiz de 150  $\mu\text{m}$ . Reducir el material retenido en el tamiz de 300  $\mu\text{m}$  pasándolo repetidamente por el disco pulverizador, tamizando después de cada pulverizado. El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de 300  $\mu\text{m}$ . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasan el tamiz No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$  como muestra para el ensayo.

#### **3.4.1.3. Procedimiento**

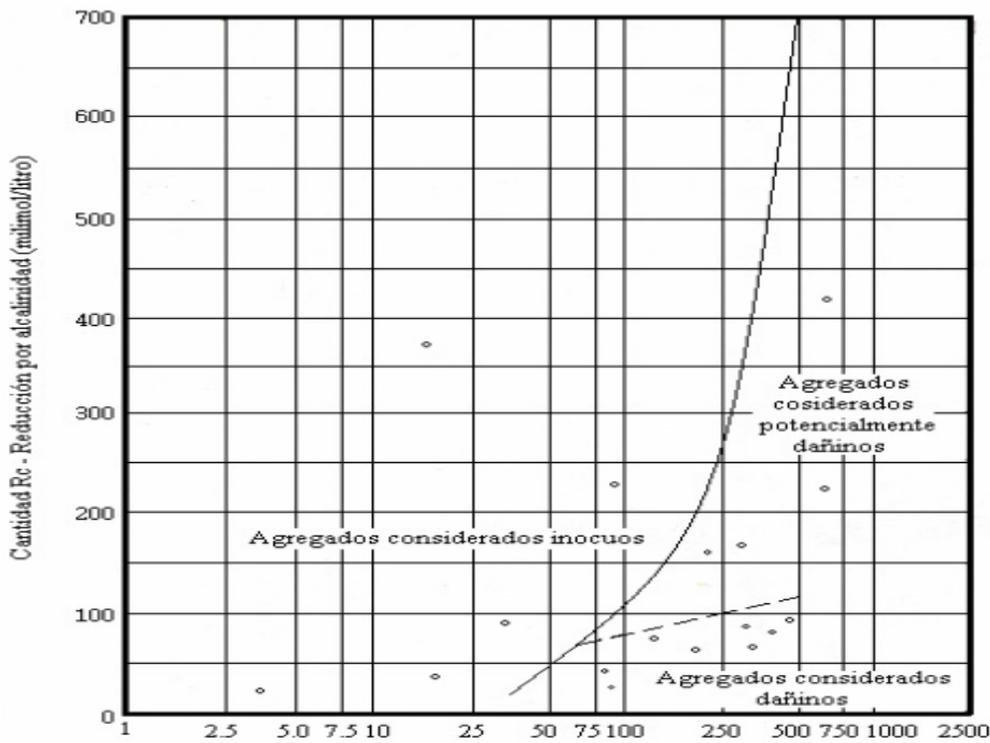
- Pesarse tres porciones representativas de  $25.00 \pm 0.05$  gr. de la muestra seca de los agregados para concreto comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100. Colocar cada porción en uno de tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25  $\text{cm}^3$  de la solución de NaOH 1.000 N.
- En un cuarto recipiente, utilizando una pipeta, agregar 25  $\text{cm}^3$  de la misma solución NaOH para usarla como solución blanca.
- Sellar los cuatro envases después de agitarlos suavemente para liberar el aire atrapado.
- Inmediatamente después de haber sellado los envases, se colocan en un baño líquido, o de aire mantenido a  $80 \pm 1.0$  °C. Después de  $24 \pm \frac{1}{4}$  de hora se sacan los envases del baño y se enfrían bajo una corriente de agua por  $15 \pm 2$  minutos hasta menos de 30 °C. Después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.

- Luego de completar la filtración, se agita el filtrado para asegurar homogeneidad y luego se toma una alícuota de 10 cm<sup>3</sup> del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm<sup>3</sup> en un frasco volumétrico. Se conserva esta solución diluida para la determinación de la sílice disuelta y la reducción en alcalinidad, con las fórmulas y procedimientos dados por la norma.

### 3.4.1.4. Interpretación de los resultados

Con base a información que interrelacionan resultados obtenidos a partir de este método con el comportamiento de los agregados en estructuras de concreto, con la expansión de barras de morteros elaborados con cemento de alto contenido de álcali y con los exámenes petrográficos de los agregados, se ha dibujado la siguiente curva.

**Figura 10. Ilustración de la curva de división entre agregados inocuos y dañinos.**



Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales

Si cualquiera de los tres puntos  $R_c$ ,  $S_c$  quedan situados en el lado dañino de la curva de la figura 5, esto indicará un grado dañino de reactividad potencial alcalina. Sin embargo, agregados potencialmente dañinos, que en principio pueden ser extremadamente reactivos con los álcalis y que aparecen representados por puntos que están situados por encima de la línea de trazos de la misma figura, pueden producir expansiones relativamente bajas. A pesar de esto, se considerará que estos agregados indican un grado de reactividad potencial dañino, hasta que se demuestre el carácter inocuo del mismo, por medio de datos sobre su uso o por ensayos suplementarios.

Los resultados del ensayo podrían ser incorrectos para agregados de concreto que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tal como calcita, dolomita, magnesita o siderita; o silicatos de magnesio tal como serpentina.



## **4. ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **Resultados Muestras de Bancos de Materiales del Departamento de Santa Rosa**

Las muestras utilizadas fueron tomadas en los bancos respectivos de el material apilado para su despacho, tratando que la muestra fuera lo mas representativa de la calidad del material despachado en cada uno de los mismos.

Los ensayos para determinar la calidad de los agregados para concreto, fueron efectuados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), en donde fueron aplicadas las normas ASTM C-33-08, para las propiedades físicas; ASTM C-131-06, para propiedades mecánicas.

En lo concerniente al examen petrográfico, ASTM C-295-08; este fue realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. La importancia de este ensayo radica en complementar a la norma ASTM C-289-07, los cuales determinan la reactividad potencial álcali-sílice (sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería).

Los resultados de Ensayos realizados a las Muestras de Materiales tomadas de Tres Bancos del departamento de Santa Rosa sus características, propiedades físicas, mecánicas y químicas analizados como agregados para concreto, se describen en este capítulo tabulando y analizando cada uno de ellos.

#### **4.1. Tabulación y análisis de resultados.**

En los siguientes incisos se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio y su análisis respectivo. El procedimiento de cada una de las normas aplicadas fueron descritas en el capítulo anterior, tanto para agregados finos, como para agregados gruesos.

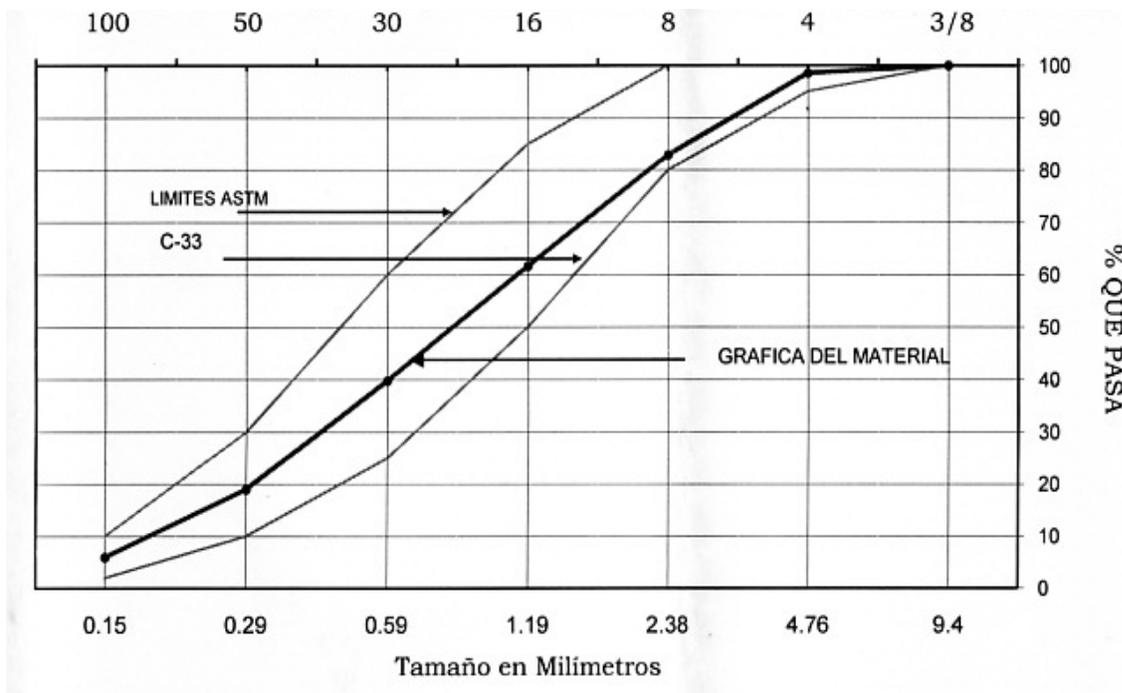
#### 4.1.1. Resultados de la norma ASTM C-33.

Conforme a lo estipulado por la norma, se procedió a realizar los ensayos requeridos para determinar la calidad de las muestras de los bancos de agregados para concreto.

##### 4.1.1.1. Agregado fino.

Agregado Fino Banco UNO (Sigma Constructores)

**Figura 11. Gráfica granulométrica de agregado fino banco uno. (Sigma Constructores)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla IX. Granulometría de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Que pasa</b>
3/8 (9,5 mm)	100,00
4 (4,75 mm)	98,54
8 (2,36 mm)	82,92
16 (1,18 mm)	61,66
30 (600 µm)	39,78
50 (300µm)	19,00
100 (150µm)	6,00

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

Como puede apreciarse en la grafica y en la tabla IX este material cumple de manera satisfactoria los requerimientos de granulometría de la norma ASTM C-33-08, su módulo de finura de 2.92 se encuentra dentro del rango 2.9 – 3.2 que lo clasifica como una arena gruesa.

La presencia de materia orgánica en esta muestra es de 2, lo cual está dentro de la norma, misma que indica un máximo de 3.

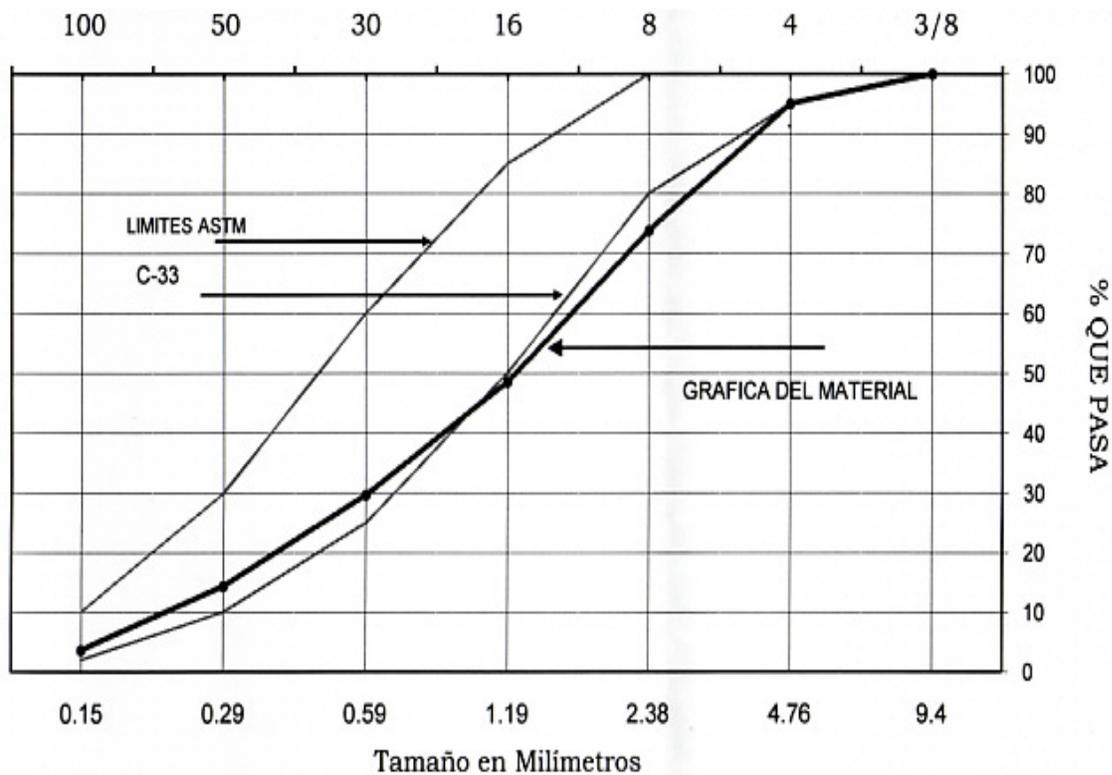
**Tabla X. Propiedades físicas de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**

<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>2.85</b>
<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1590.69</b>
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1466.06</b>
<b>Porcentaje de Vacios</b>	<b>44.19</b>
<b>Porcentaje de Absorción</b>	<b>2.27</b>
<b>Contenido de Materia Orgánica</b>	<b>2.00</b>
<b>% Retenido en Tamiz 6.35</b>	<b>2.32</b>
<b>% que pasa Tamiz 200</b>	<b>4.20</b>
<b>Modulo de Finura</b>	<b>2.92</b>

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

El peso específico, el peso unitario, el peso unitario suelto y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material, y poseen valores que pueden ser considerados normales para un concreto de peso normal. Se encuentran dentro del rango descrito en fino banco uno y son considerados aceptables. Cumpliendo aceptablemente la norma.

**Figura 12. Gráfica granulométrica, banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XI. Granulometría de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Que pasa</b>
3/8 (9,5 mm)	100,00
4 (4,75 mm)	95,00
8 (2,36 mm)	73.82
16 (1,18 mm)	48.5
30 (600 μm)	29,70
50 (300μm)	14,36
100 (150μm)	3.62

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

Como nos ilustra la gráfica, este material presenta algunos inconvenientes en la gráfica y la tabla granulométrica no cumpliendo en los tamices, 8 (2,36 mm) con 73.82 y el Tamiz 16 (1,18 mm) con 73.82, los cuales afectaron el Módulo de Finura llevándolo a 3.55 que es mayor al rango 2.9 – 3.2 dejándolo como un material muy grueso.

La presencia de materia orgánica en esta muestra según colometria es de 3 la cual es el máximo permitido, según la norma.

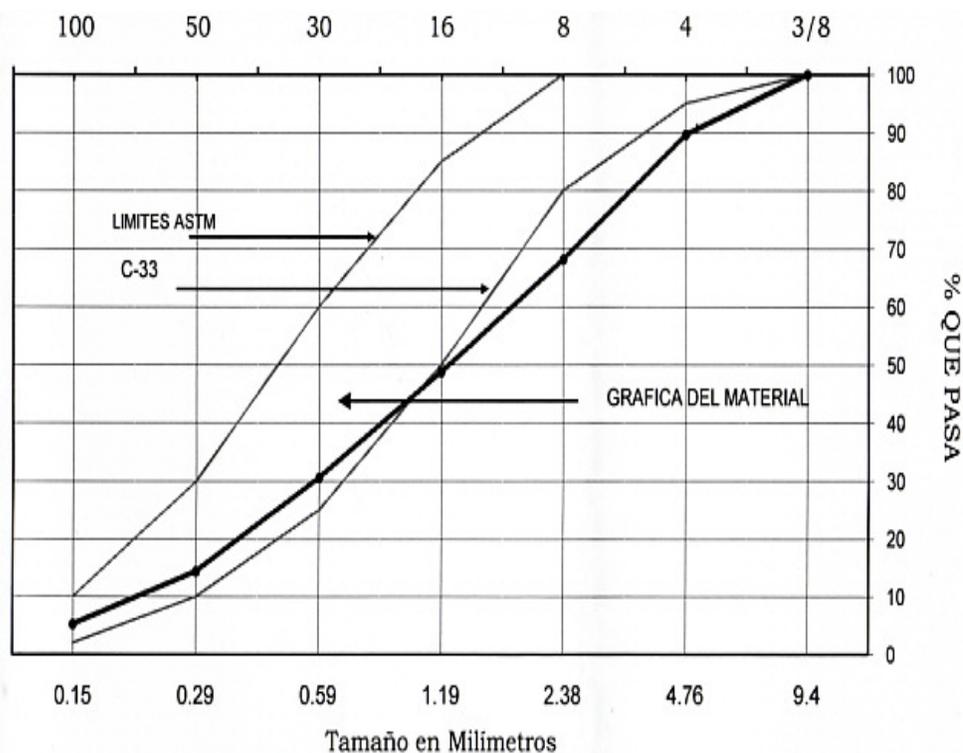
**Tabla XII. Características físicas de agregado fino banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**

<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>2.57</b>
<b>Peso Unitario (kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>1582.48</b>
<b>Peso Unitario Suelto (kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>1504.05</b>
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	<b>38.51</b>
<b>Porcentaje de Absorción</b>	<b>1.21</b>
<b>Contenido de Materia Orgánica</b>	<b>3.00</b>
<b>% Retenido en Tamiz 6.35</b>	<b>8.06</b>
<b>% que pasa Tamiz 200</b>	<b>8.70</b>
<b>Modulo de Finura</b>	<b>3.55</b>

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

El peso específico, el peso unitario, el peso unitario suelto y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material, y poseen valores que pueden ser considerados normales para un concreto de peso normal. Se encuentran dentro del rango descrito del agregado fino banco dos y son considerados aceptables. El porcentaje que pasa tamiz 200 esta alto según la norma y la presencia de esta materia perjudicial que son limos muy finos y materia orgánica se puede controlar efectuando un mejor lavado de la arena.

**Figura 13. Gráfica granulométrica de agregado fino banco tres (Piedrinera Las Cañas)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XIII. Granulometría agregado fino banco tres  
(Piedrinera Las Cañas)**

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Que pasa</b>
3/8 (9,5 mm)	100,00
4 (4,75 mm)	89,64
8 (2,36 mm)	68,14
16 (1,18 mm)	48,74
30 (600 μm)	30,58
50 (300μm)	14,44
100 (150μm)	5,24

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

En esta muestra podemos notar una deficiencia específicamente en los tamices 4 (4,75 mm) de 89.64 y 8 (2,36 mm) de 68,14 los cuales están debajo de la norma afectando el módulo de finura llevándolo a 3.43, lo cual esta arriba del rango de una arena gruesa que es de 2.9 – 3.2, estos indicadores nos muestran una arena gruesa que podría afectar la trabajabilidad del concreto que se obtendrá, dicho inconveniente se puede evitar variando la proporción de agregados. La presencia de materia orgánica en esta muestra según colometria es de 2, la cual esta abajo del máximo permitido, según la norma el cual es de tres.

**Tabla XIV. Características físicas de agregado fino banco tres (Piedrinera Las Cañas)**

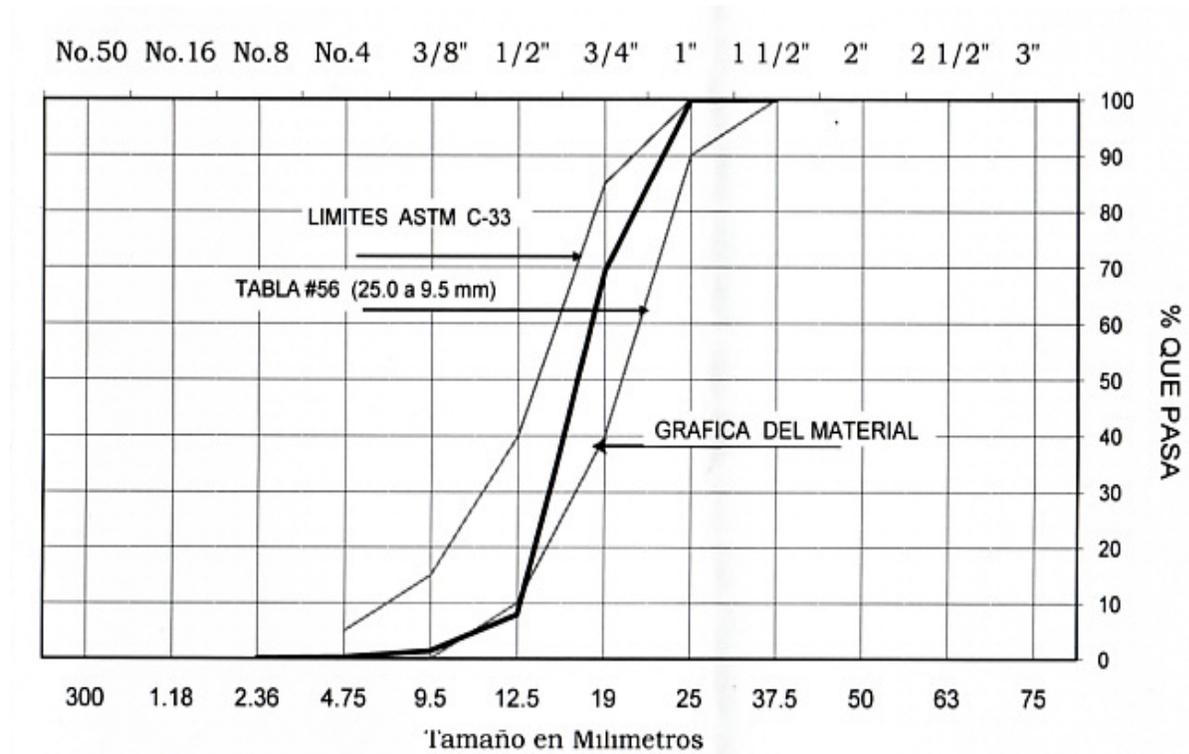
<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>2.62</b>
<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1684.96</b>
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1547.30</b>
<b>Porcentaje de Vacios</b>	<b>35.66</b>
<b>Porcentaje de Absorción</b>	<b>1.45</b>
<b>Contenido de Materia Orgánica</b>	<b>2.00</b>
<b>% Retenido en Tamiz 6.35</b>	<b>6.08</b>
<b>% que pasa Tamiz 200</b>	<b>5.10</b>
<b>Modulo de Finura</b>	<b>3.43</b>

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

El peso específico, el peso unitario, el peso unitario suelto y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material, y poseen valores que pueden ser considerados normales para un concreto de peso normal. Solamente el módulo de finura esta pasado del máximo aceptable.

#### 4.1.1.2. Agregado grueso.

**Figura 14. Gráfica de granulometría agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XV. Granulometría de agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Que pasa</b>
1"	99,77
3/4"	69,33
1/2"	7,93
3/8"	1,42
No. 4	0,24
No. 8	0,00

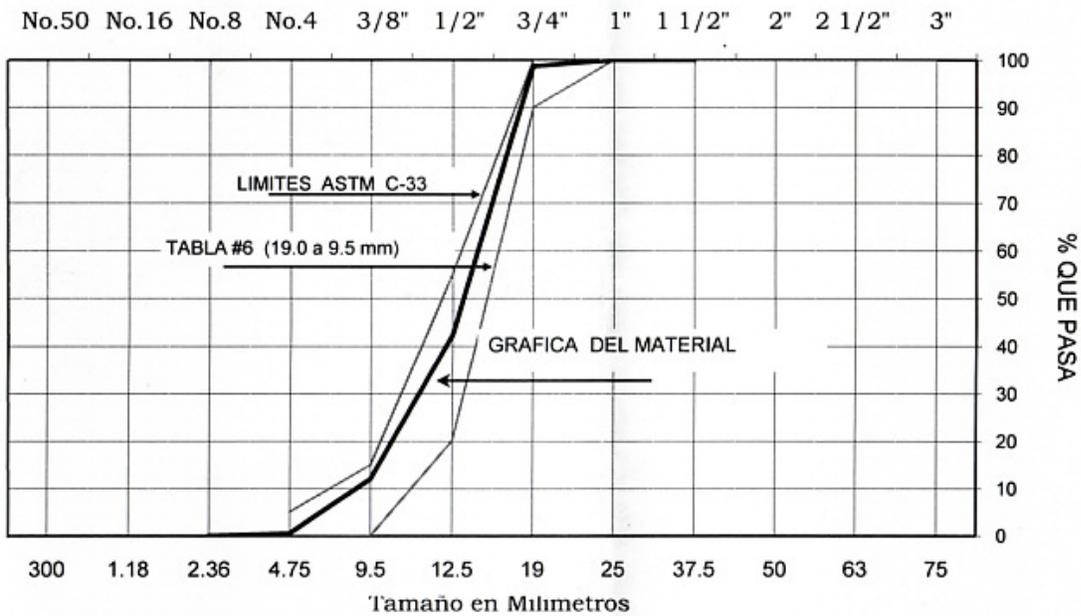
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XVI Propiedades físicas agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos)**

<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>2.59</b>
<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1033.81</b>
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>964.43</b>
<b>Porcentaje de Vacios</b>	<b>60.08</b>
<b>Porcentaje de Absorcion</b>	<b>2.50</b>
<b>% Tamiz 200</b>	-----
<b>% Desgaste por Sulfato de Sodio</b>	-----
<b>% Desgaste por Abrasión</b>	-----
<b>% Particulas Planas y alargadas</b>	-----
<b>% Particulas Livianas</b>	-----

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Figura 15. Granulometría agregado grueso banco tres (Piedrinera Las Cañas)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XVII. Granulometría de agregado grueso banco tres (Piedrinera Las Cañas)**

Tamiz No.	% Que pasa
1"	100,00
3/4"	98,66
1/2"	46,26
3/8"	12,01
No. 4	0,48
No. 8	0,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XVIII. Propiedades físicas de agregado grueso banco tres  
(Piedrinera Las Cañas)**

<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>2.57</b>
<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>999.62</b>
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>884.05</b>
<b>Porcentaje de Vacios</b>	<b>61.05</b>
<b>Porcentaje de Absorcion</b>	<b>3.63</b>
<b>% tamiz 200</b>	-----
<b>% Desgaste por Sulfato de Sodio</b>	-----
<b>% Desgaste por Abrasión</b>	-----
<b>% Particulas Planas y alargadas</b>	-----

**Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería**

De lo observado en las tablas y figuras precedentes, podemos sacar como conclusión previa que el material extraído de los bancos, se encuentra dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08, lo cual indica además, que posee una adecuada graduación, y que la planta tiene un buen control de calidad en el proceso de trituración que satisface las especificaciones estipuladas.

Debido a lo anterior y sumado a su buena graduación, deducimos entonces que se puede obtener un concreto con buena trabajabilidad, lo cual contribuye en obtener un concreto económico.

#### 4.1.2. Resultados de la norma ASTM C-131-06

El tipo de granulometría obtenido para las dos muestras de agregado Grueso de la norma ASTM C-33-08, nos indico que el tipo de abrasión a aplicar a ambas muestras fue de tipo B. Se obtuvo un porcentaje de desgaste de 24.92 para el Banco Dos y 22.30 para Banco Tres, del ensayo de la máquina de Los Ángeles, como se aprecia en la Tabla XIX, la cual se considera aceptable para el uso de la dosificación de un concreto de buena calidad, ya el porcentaje de desgaste no debe exceder el 40%.

**Tabla XIX. Resultados de ensayos en la máquina de “Los Ángeles” agregado grueso de banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”) y agregado grueso banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)**

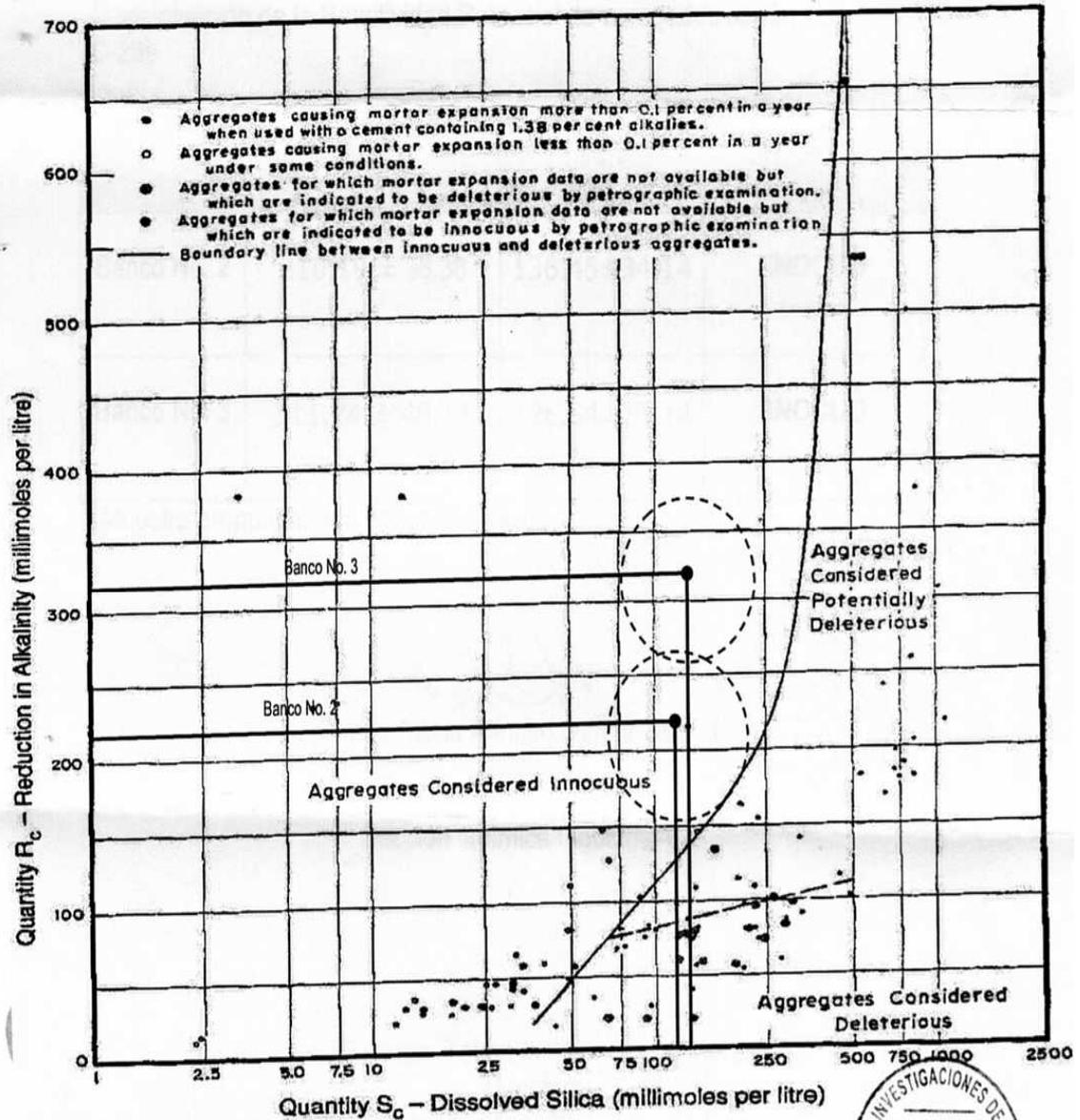
REFERENCIAS	MUESTRAS			
	Banco 2	Banco 3	*****	*****
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	ASTM C-131	*****	*****
2. Graduación	"B"	"B"	*****	*****
3. % Desgaste	24.92	22.30	*****	*****

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

#### 4.1.3. Resultados de la norma ASTM C-289-07

El ensayo de reactividad potencial álcali-sílice, le fue aplicado a las muestras de agregado Grueso correspondientes a Agregado Grueso Banco Dos (AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”) y Agregado Grueso Banco Tres (Piedrinera “Las Cañas”). Los resultados de los ensayos se detallan en la tabla XX y Figura 16.

Figura 16. Gráfica de resultado de reactividad potencial álcali-sílice, agregado grueso de banco dos (AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos") y agregado grueso banco tres (Piedrinera "Las Cañas")



Gráfica tomada de la norma ASTM C-289



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XX. Resultado de reactividad potencial alcalina-silice para agregado grueso banco dos (AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”) y agregado grueso banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)**

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289

Muestra	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Banco No. 2	210.19 ± 36.36	136.45±34.14	<b>INOCUO</b>
Banco No. 3	311.24 ± 49.11	126.54±23.14	<b>INOCUO</b>

\*Muestra proporcionada por el interesado.

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

Como puede apreciarse en la tabla anterior, el resultado de reactividad potencial de las muestras de agregado grueso, son inocuos, lo cual indica que los minerales que poseen las rocas no producirán reacción dañina con los álcalis del Cemento Pórtland.

De los resultados arriba indicados, concluimos entonces que dichos agregados gruesos cumplen satisfactoriamente la norma.

#### 4.1.2. Resultados de la norma ASTM C-295-08

El análisis petrográfico se realizó haciendo uso del microscopio estereoscópico localizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. En dicho lugar se efectuaron los ensayos respectivos de los agregados finos del banco uno (Sigma Constructores), banco dos (AGREGUA, TYRSA Los Esclavos) y banco tres (Piedrinera Las Cañas), todas provenientes del departamento de

Santa Rosa, contándose con el asesoramiento del Ing. Julio Roberto Luna Aroche, director del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas – CESEM-

### **Resultados de análisis petrográfico agregado fino**

Haciendo uso del material tamizado del ensayo de granulometría, tomando cada uno de los retenidos por separado para proceder a efectuar el examen petrográfico (se utilizo tamices No.8, No.16, No.30, No.50 y No.100) se realizaron los cuarteos y se contó un mínimo de 150 partículas por cada tamiz como lo indica la norma. Se clasifico el tipo de partículas y minerales que contenía cada malla. Para lo anterior se hizo uso del microscopio estereoscópico. Los resultados se presentan a continuación en las tablas y graficas correspondientes a cada banco.

**Tabla XXI. Resultado de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**

<b>TIPO</b>	<b>Porcentaje de Particulas por Tamiz</b>				
	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
Pomez	20,00	18,07	4,85	3,76	1,25
Andesita	53,14	46,39	41,26	35,21	28,13
Cuarzo	8,57	14,46	23,30	23,94	26,88
Vidrio Volcanico	0	4,22	16,99	25,35	25,63
Dacita	18,29	16,87	13,59	11,74	18,13
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

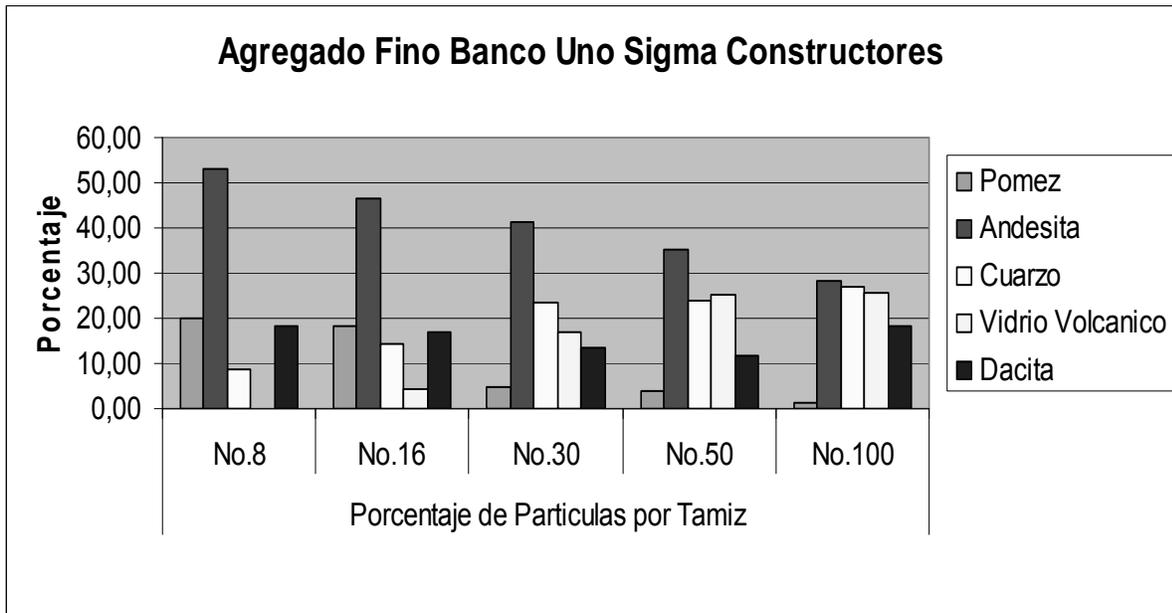
Fuente: **Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-**

**Tabla XXII. Promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**

TIPO	Promedio en Todos los Tamices
Pomez	9,59
Andesita	40,83
Cuarzo	19,43
Vidrio Volcanico	14,44
Dacita	15,72
Total	100,00

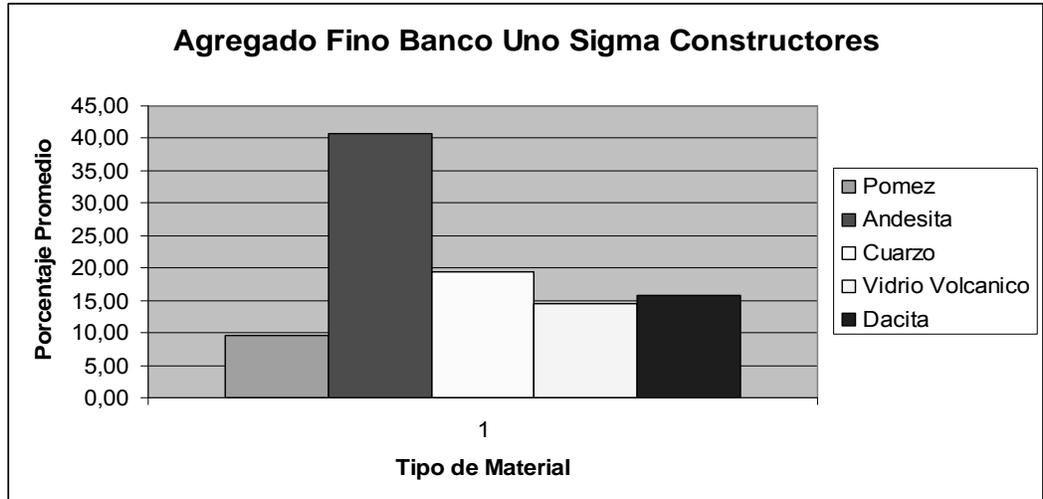
Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 17. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 18. Gráfica de promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino banco uno (Sigma Constructores)**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Tabla XXIII. Resultado de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)**

**Banco Dos**

TIPO	Porcentaje de Partículas por Tamiz				
	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
Pomez	18,79	7,39	6,74	5,13	0,58
Andesita	51,52	46,02	41,01	21,03	26,01
Cuarzo	21,21	27,27	42,70	35,90	34,68
Vidrio Volcanico	0	5,68	6,74	29,74	31,79
Hornblenda	0	0,00	2,81	8,21	0,00
Dacita	8,48	13,64	0,00	0,00	6,94
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

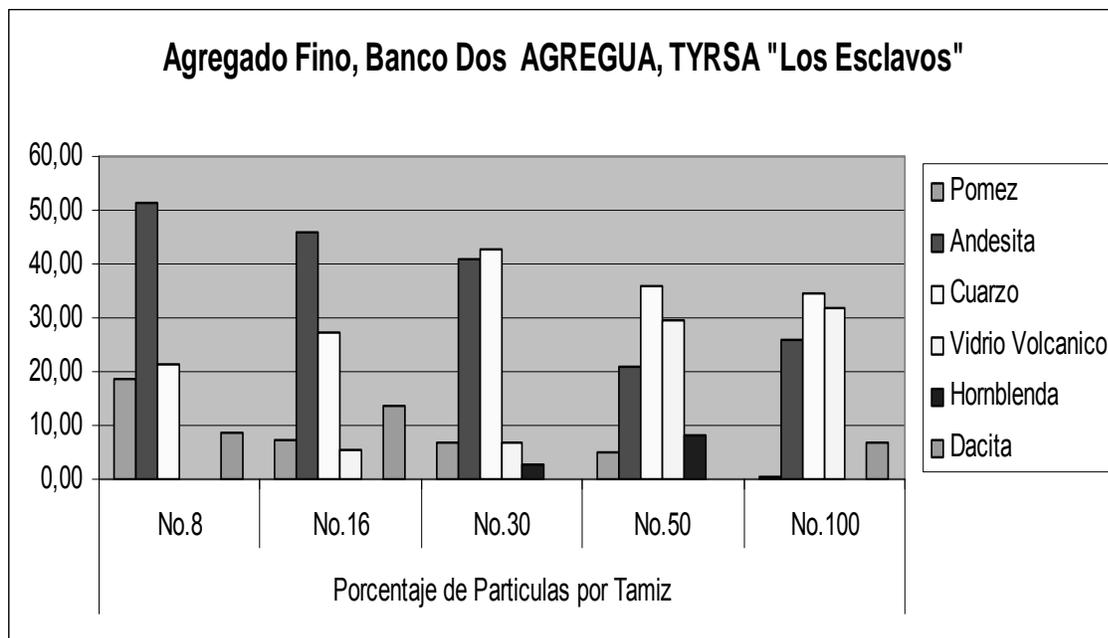
Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Tabla XXIV. Promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)**

TIPO	Promedio en Todos los Tamices
Pomez	7,72
Andesita	37,12
Cuarzo	32,35
Vidrio Volcanico	14,79
Hornblenda	2,20
Dacita	5,81
Total	100

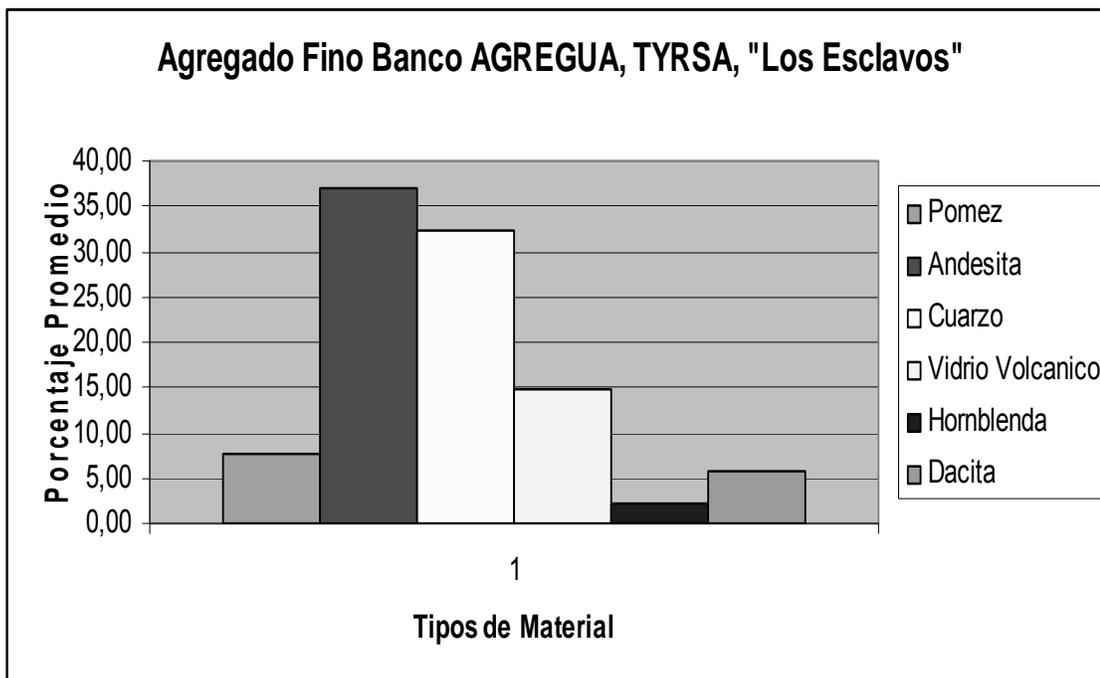
Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 19. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 20. Gráfica de promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco dos (AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”)**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Tabla XXV. Resultado de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)**

**Banco Tres**

TIPO	Porcentaje de Partículas por Tamiz				
	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
Pomez	18,39	14,37	11,76	0,00	0,00
Andesita	54,02	51,50	36,36	17,68	26,21
Cuarzo	12,64	22,16	33,16	28,73	28,23
Vidrio Volcanico	0	1,20	8,02	35,91	18,15
Horblenda	0	0,00	0,00	14,36	20,16
Dacita	14,94	10,78	10,70	3,31	7,26
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

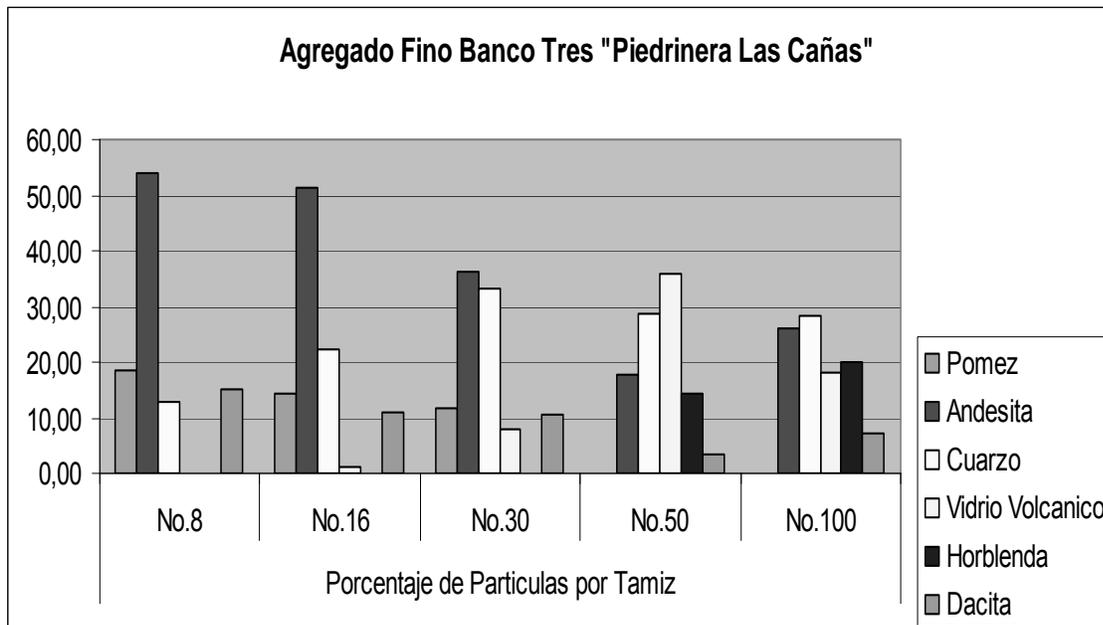
Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Tabla XXVI. Promedio análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)**

<b>TIPO</b>	Promedio en Todos los Tamices
Pomez	8,91
Andesita	37,15
Cuarzo	24,98
Vidrio Volcanico	12,66
Horblenda	6,91
Dacita	9,40
Total	100,00

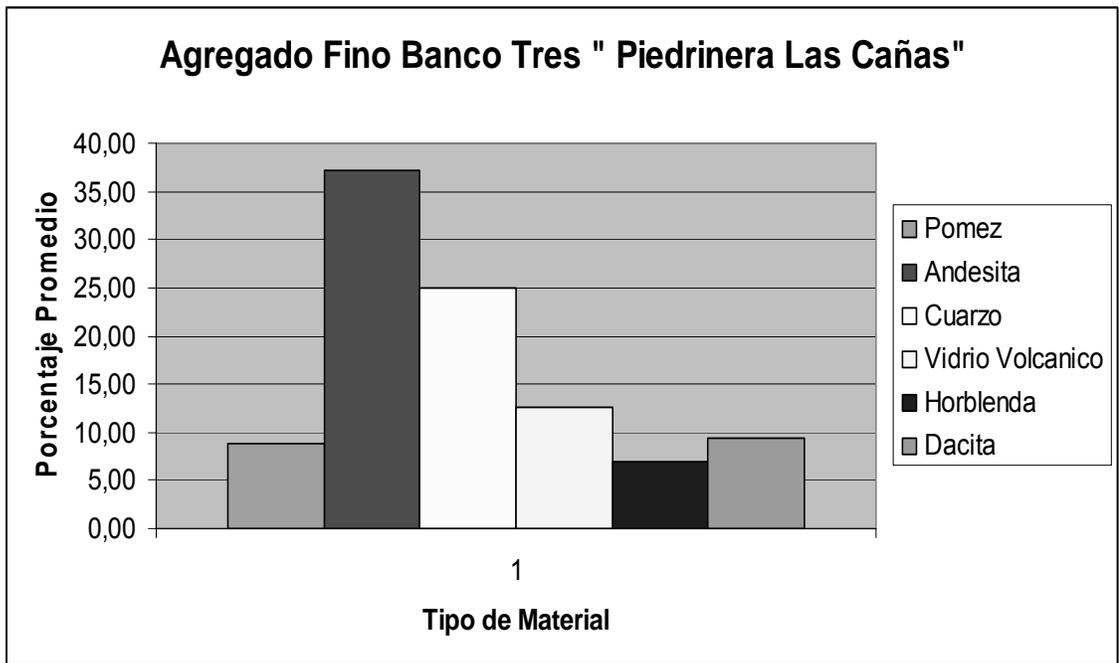
Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 21. Gráfica de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco tres (Piedrinera “Las Cañas”)**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

**Figura 22. Gráfica de promedio de análisis petrográfico por tamiz de agregado fino, banco tres (Piedrinera "Las Cañas")**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

De lo anterior podemos advertir la presencia de materiales muy similares en todos los bancos como en los agregados finos y gruesos, de origen volcánico específicamente rocas ígneas.

**Resultados de análisis petrográfico a agregado grueso**

El examen petrográfico del agregado grueso para concreto se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-. Se efectuó el examen respectivo para determinar las características macroscópicas siguientes:

La muestra No.1 corresponde al agregado grueso, banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”.

**Tabla XXVII. Resultado de análisis petrográfico agregado grueso, banco dos (AGREGUA TYRSA “Los Esclavos”)**

<p><b><u>MUESTRA No. 1</u></b></p> <p>BANCO No. 2 (Agregado Grueso) Lugar de muestreo: Aldea El Cielito, Cuilapa, Santa Rosa. Denominación: Tyrsa, Agregua, Los Esclavos. Presentación: Fragmentos de roca triturada. Textura de la roca: Afanítica (fina) Color: gris-gris oscuro Tipo: Roca ígnea extrusiva (volcánica) Nombre (s): Andesitas y Dacitas. Composición mineralógica: Principalmente feldespatos con piroxenos y anfíboles. Observaciones: No presenta sustancias deleznable.</p>
--

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-

La muestra No.2 corresponde al agregado grueso, banco tres “Piedrinera Las Cañas”.

**Tabla XXVIII. Resultado de análisis petrográfico al agregado grueso, banco tres Piedrinera “Las Cañas” realizado en CESEM.**

<p><b><u>MUESTRA No. 2</u></b></p> <p>BANCO No. 3 (Agregado Grueso) Lugar de muestreo: Aldea Amberes, Santa Rosa. Denominación: Piedrinera Las Cañas. Presentación: Fragmentos de roca triturada. Textura de la roca: No clástica (química) Color: gris claro. Tipo: sedimentaria. Nombre (s): Caliza. Composición mineralógica: CALCITA y posiblemente DOLOMITA (carbonato de calcio y carbonato doble de calcio y magnesio, respectivamente). Observaciones: No se observan sustancias deleznales.</p>
--

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-

### **Descripción de rocas encontradas en el análisis petrográfico**

Podemos considerar a una roca como un sólido compuesto por más de un mineral o mineraloide, así un solo cristal no se considera como una roca, sin embargo la unión de dos cristales si, incluso si son del mismo mineral técnicamente es una roca. Los minerales o mineraloides pueden ser lo suficientemente grandes como para ser fácilmente identificados, como en algunos granitos, apenas distintivos como en un esquisto, o en una mezcla de gránulos microscópicos como en una pizarra.

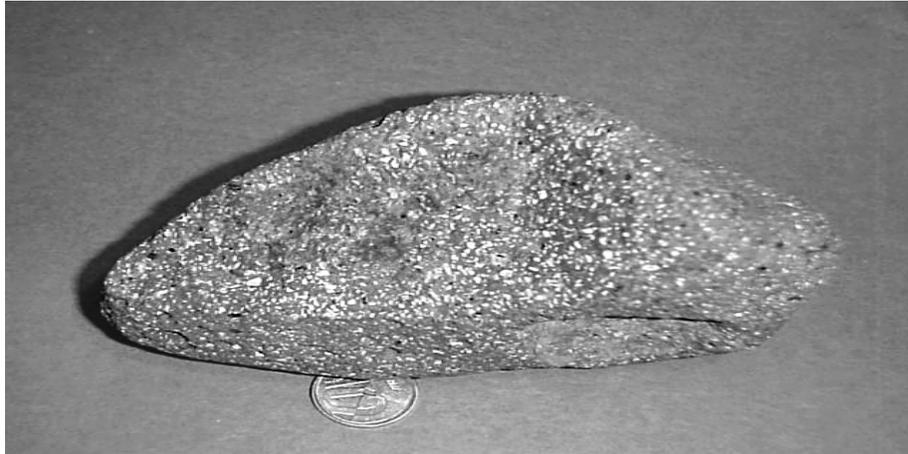
## Rocas Ígneas

Las rocas ígneas (del latín igneus- que proviene de ignis- fuego) o magmáticas constituyen la mayor parte de la porción sólida de la Tierra, por lo menos en su zona exterior. Las rocas ígneas se forman a partir del enfriamiento y solidificación de un fundido silicatado o magma (masa rocosa/viscosa cuyos principales elementos son sílice y oxígeno, además de potasio, sodio, calcio, magnesio, aluminio y hierro). La solidificación del magma y su consiguiente cristalización puede tener lugar en el interior de la corteza, tanto en zonas profundas como superficiales, o sobre la superficie exterior de ésta.

Si la cristalización tiene lugar en una zona profunda de la corteza a las rocas así formadas se les denominan rocas intrusivas o plutónicas (de Plutón, el dios del mundo inferior en la mitología clásica). Por el contrario, si la solidificación magmática tiene lugar en la superficie terrestre a las rocas se las denomina rocas extrusivas o volcánicas (de Vulcano, dios del fuego en la mitología clásica que tenía su residencia bajo el volcán Etna). Por último, si la solidificación magmática se produce cerca de la superficie de la tierra, de una manera relativamente rápida y el magma rellena pequeños depósitos (p.ej. diques, filones, sills, lacolitos, etc.) a las rocas así formadas se las denomina subvolcánicas o hipoabisales. Estas rocas también reciben el nombre de rocas filonianas, ya que habitualmente están rellenas de grietas o filones.

## Andesita

**Figura 23. Muestra de andesita**



**Fuente: Asociación de Investigaciones Biodinámicas.**

La andesita es una roca ígnea, magmática, de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa, piroxeno y/u Hornblenda.

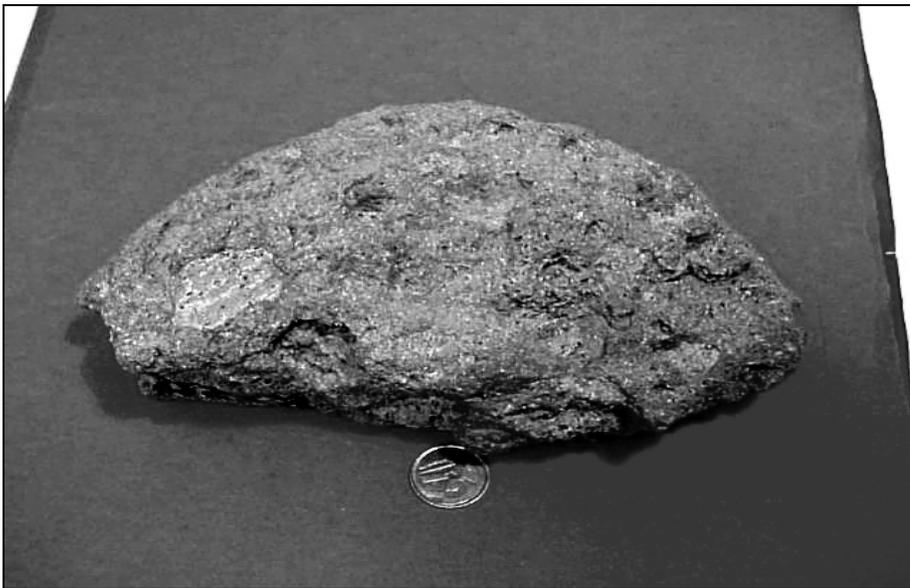
Frecuentemente están asociados biotita, cuarzo, magnetita y esfena. El álcali feldespato está ausente en esta roca.

La clasificación de andesitas puede refinarse según el fenocristal más abundante. Por ejemplo, la andesita olivina se llama de esta forma, en tanto que la olivina es el principal componente mineral. Puede considerarse el equivalente extrusivo de la diorita plutónica. Como las dioritas, la andesita es característica de las áreas de subducción tectónica en márgenes oceánicos marinos, como la costa de América del Sur. Su nombre deriva de los Andes, cordillera montañosa que corre paralela a las costas desde Venezuela hasta Patagónica. La andesita puede tomar colores como el negro azabache a verde plomizado según su constitución.

Se observa la textura porfídica con cristales de plagioclasa (blancos) y anfíboles (oscuros) y en menor proporción algunos piroxenos (también oscuros). Es también evidente la gran porosidad debida al escape de los gases que contiene durante el proceso de cristalización.

## Dacita

**Figura 24. Muestra de dacita**



Fuente: **Asociación de Investigaciones Biodinámicas.**

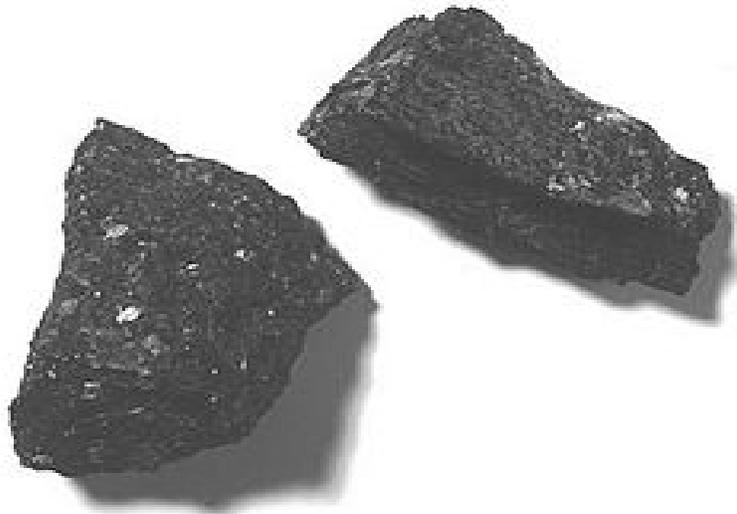
La dacita es una roca volcánica ígnea con alto contenido de hierro. Su composición se encuentra entre las composiciones de la andesita y la de la riolita y, al igual que la andesita, se compone principalmente de feldespato plagioclasa con biotita, Hornblenda, y piroxeno (augita y/o enstatita). Posee una textura entre aphanitic y pórfida con cuarzo en forma de fenocristales redondeados corroídos, o como elemento de su pasta base. Las proporciones relativas de feldespatos y cuarzo en la dacita, y en muchas otras rocas volcánicas.

Toba volcánica. Con textura porfídica (fanerítica). Se observan numerosos fenocristales de feldespato (anaranjados) y plagioclasa sódica (más claros) así como pequeños cristales de cuarzo y texturas vítreas. Es también evidente la gran porosidad debida al escape de los gases que contiene durante el proceso de cristalización.

La palabra dacita proviene de Dacia, una provincia del Imperio romano que se encontraba entre el río Danubio y los montes Cárpatos (actualmente Rumania), que es donde primero se describió la roca.

## **Hornblenda**

**Figura 25. Muestra de hornblenda**



Fuente: Asociación de Investigaciones Biodinámicas., *"Clasificación química de los minerales"*

Hornblenda u Hornablenda es el nombre de un grupo de minerales perteneciente a los silicatos o aluminosilicatos.

El nombre deriva del alemán horn (Cuerno) y blende (de blenden = relucir) y se refiere al brillo del mineral.

Estructura: La Hornblenda forma parte de la composición de muchas rocas, tales como los granitos, los gneises etc. Forma parte del grupo de las anfibolitas.

En su red cristalina, los iones de hierro, magnesio y aluminio pueden sustituirse mutuamente sin problema y, por lo tanto, es difícil distinguir o incluso separar los diferentes minerales que se denominan magnesio-Hornblenda, ferro-Hornblenda y aluminio-Hornblenda, según el quemismo del elemento predominante. Según regla general, sólo se puede indicar que los minerales con mayor contenido en hierro tienen colores más oscuros.

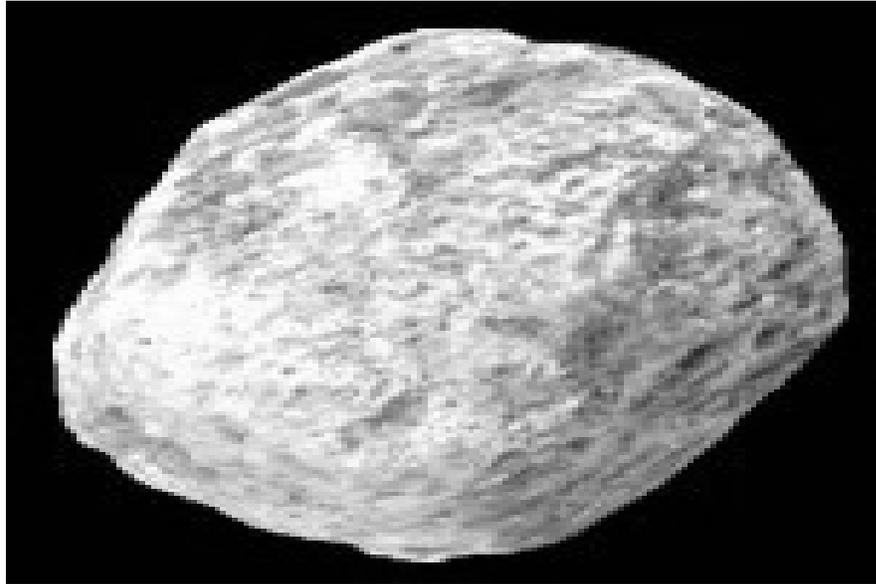
Aunque la Hornblenda es un mineral ampliamente distribuido, no se encuentra frecuentemente en las colecciones, ya que no suele formar cristales vistosos.

### **Características**

- **Color:** generalmente oscuro a verde oscuro
- **Transparencia:** los cristales suelen ser opacos, aunque ejemplares pequeños o de excepcional pureza pueden ser transparentes
- **Sistema cristalino:** monoclinico 2/m
- **Hábitat cristalino:** desde pequeños prismas cortos hasta agujas. El corte por los cristales puede ser hexagonal, aunque raras veces son simétricos. También se suele encontrar en forma masiva. Se rompe de forma imperfecta en dos direcciones a 56 y a 124°. La fractura es irregular.
- **Dureza en la escala de mohs:** 5 - 6
- **Densidad:** 2,9 - 3,4 g/ml
- **Minerales asociados:** cuarzo, feldespato, augita, magnetita, mica minerales metamórficas.

## Pómez

**Figura 26. Muestra piedra pómez (pumita o pumicita)**



Fuente: Asociación de Investigaciones Biodinámicas.

### Características

- **Tipo básico:** Piedra volcánica
- **Grupo:** Ígneas
- **Sistema cristalino / Estructura:** Posee formas variadas, predominando las alargadas y angulosas. Granulometrías
- **Composición química:** Compuesto de trióxido de sílice y trióxido de aluminio.
- **Formación y origen:** Son piro clástico poroso, que se constituyen de vidrio en forma de espuma y que se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad. Estos son muy característicos de las vulcanitas claras y ácidas, como por ejemplo de la riolita, y por ello son de color blanco grisáceo hasta amarillento, raramente de color café o gris. El término "piedra pómez" incluye todos las rocas piro clásticas porosas.

- **Dureza:** 5 / 6 Mohs. Aunque de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie
- **Textura:** Porosa, esponjosa o espumosa. Escoriácea, con muchos huecos y cavidades.
- **Densidad:** Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. 0,7 (0,4 a 0,9) g/cm<sup>3</sup>
- **Color:** Blanco grisáceo, ceniza, amarillento.
- **Brillo:** Piedras pómez frescas son de brillo sedoso.
- **Propiedades:** El origen volcánico le dio ciertas características a la piedra pómez: una multitud de poros y células cerradas dan por resultado una porosidad con una solidez de grano al mismo tiempo. Si porosidad le permite absorber y retener el agua, además de hacerla ligera y otorgarle condiciones particulares, especialmente para el filtrado de productos de elaboración industrial.

La piedra pómez es tan suave que puede ser tallada, torneada y grabada con gran facilidad. Su color blanco le da una gran vistosidad, siendo también útil para la decoración. Debido a su ligereza puede flotar sobre las aguas a causa del aire contenido en sus cavidades. Aparte de eso la piedra pómez es resistente al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua. Las partículas de esta roca volcánica, poseen variadas formas predominando las alargadas y las angulosas. Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie trabajada.

Tiene múltiples usos: como filtrante en la industria, como aireador de suelos en la agricultura, y en la elaboración de polvos abrasivos para cosmetología,

odontología y distintos procesos químicos. Limpieza de superficies delicadas en construcción civil y monumental tales como estucos, esgrafiados, bajorrelieves, y de forma general, todas aquellas superficies en las que sea deseable una aplicación suave. Aplicable también a superficies metálicas para matizado muy leve. La pumicita para horticultura se emplea en cultivos diversos, invernaderos, campos de golf, jardinería de paisaje, etc. La pumicita es un gran complemento para el suelo. Provee porosidad para la aireación y al mismo tiempo retiene el agua en el área, permitiendo a las plantas permanecer verdes y saludables por periodos más prolongados entre lluvias o riegos.

La piedra pómez es la materia prima ideal para el material de un buen muro, porque es porosa, ligera, dura (relativo a la solidez del grano) y no inflamable.



## **5. ELABORACIÓN DE CONCRETO PARA DETERMINAR RESISTENCIAS**

Como hemos venido mencionando a lo largo del presente trabajo, podemos asegurar que el concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales.

La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. Para la obtención de resultados óptimos de sus propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar pequeñas porciones de oxígeno que éste deje.

Las características que posea el mortero (mezcla de cemento, arena y agua) son las que al final de cuentas determinan el esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos con una amplia gama de resistencias.

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una trabajabilidad correcta para su vaciado y un bajo costo. Este último factor obliga a la utilización de la mínima cantidad de cemento (el más costoso de los componentes) que asegure unas propiedades adecuadas. Mientras mejor sea la graduación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos o burbujas de oxígeno, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos.

El concreto mezclado debe ser plástico y manejable, dos cualidades que son sin duda importantes. El término plasticidad es usado para describir una consistencia del concreto que permite que éste sea fácilmente moldeado, pero con una deformación lenta. La plasticidad del concreto depende de la cantidad de arena y cemento que tiene la mezcla y no de la cantidad de agua. El término trabajabilidad o manejabilidad, definen la facilidad con que la mezcla pueda ser colocada adecuadamente.

Adicionalmente, al agua requiera para la hidratación se necesita agua para humedecer la superficie de los agregados. A medida que se adiciona agua, la plasticidad y fluidez de la mezcla aumentan, pero su resistencia disminuye debida al mayor volumen de vacíos creados por el agua libre. Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de esta manera, desde el punto de vista de la pasta de cemento, la relación agua-cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua-cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegura la manejabilidad deseada.

La mezcla que debe usarse dependerá de la naturaleza del trabajo, de la forma y tamaño del agregado grueso y del agregado fino, siendo necesario ensayar varias mezclas hasta obtener una que tenga la consistencia, resistencia y otras propiedades requeridas con una cantidad mínima de pasta, sin variar la relación agua-cemento.

La consistencia del concreto se mide con mayor frecuencia mediante el ensayo de asentamiento. La prueba se realiza con un molde metálico con la forma de un cono truncado de 12 pulgadas de altura, el cual se llena cuidadosamente con concreto fresco de una manera especificada. Una vez

lleno el molde, éste se levanta y el asentamiento del concreto se mide como la diferencia de altura entre el molde y la pila de concreto. El asentamiento es una buena medida de la cantidad total de agua en la mezcla y debe mantenerse tan bajo como sea compatible con la manejabilidad.

La principal medida de la calidad estructural del concreto es su resistencia a la compresión. Los ensayos para medir esta propiedad se realizan sobre especímenes cilíndricos de altura igual a dos veces el diámetro, usualmente 6 X 12 pulgadas. Los moldes impermeables de esta configuración se llenan con concreto durante la operación de colocación. Los cilindros se curan generalmente por 28 días y posteriormente se ensayan en el laboratorio a una tasa de carga especificada. La resistencia a la compresión obtenida de tales ensayo se conoce como resistencia del cilindro  $f'_c$  y es la principal propiedad especificada para propósitos de diseño.

Para asegurar una resistencia adecuada del concreto a pesar de la dispersión inevitable de las dosificaciones, el código ACI estipula que la calidad de concreto es satisfactoria si cumple lo siguiente:

- Ningún resultado de un ensayo de resistencia individual (el promedio de una par de ensayos sobre cilindros) está por debajo del valor de  $f'_c$  requerido en más de 3.5 MPa.
- El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o mayor al valor requerido de  $f'_c$ .

Es necesario dosificar el concreto de manera que su resistencia media usada como base para la selección de proporciones satisfactorias, sobrepase la resistencia requerida  $f'_c$  en una cantidad suficiente para garantizar el cumplimiento de los dos requisitos mencionados.

Para efectos demostrativos del comportamiento del concreto elaborado con las muestras de los agregados pétreos que son objeto de este estudio, se elaboraron tres diseños teóricos de mezcla de concreto. Para las dosificaciones fueron requeridas las características de los agregados fino y grueso, obtenidas del análisis de la norma ASTM C-33-08.

### Diseños teóricos de concreto

#### Diseño uno

Agregado fino banco dos y Agregado grueso banco dos

Diseño de mezcla, Resistencia Nominal = 210 Kg./cm.<sup>2</sup>

Resistencia Promedio 246 Kg./cm.<sup>2</sup>, Relación Agua Cemento = 0.57

**Tabla XXIX. Diseño teórico de concreto diseño uno**

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	350,88
ARENA (Ferroniquel)	2,32	65,56	813,61
PIEDRIN / GRAVA	2,95	130,00	1035,51
AGUA LIBRE	0,57	24,23	200,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

#### Diseño dos

Agregado Fino banco tres y Agregado grueso banco tres

Diseño de mezcla, Resistencia Nominal = 210 Kg./cm.<sup>2</sup>

Resistencia Promedio 246 Kg./cm.<sup>2</sup>, Relación Agua Cemento = 0.57

**Tabla XXX. Diseño teórico de concreto diseño dos**

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	377,19
ARENA (Ferroniquel)	2,20	60,43	831,59
PIEDRIN / GRAVA	2,59	124,51	976,22
AGUA LIBRE	0,57	24,23	215,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

### Diseño tres

Agregado Fino Banco Uno y Agregado Grueso Banco Tres

Diseño de mezcla, Resistencia Nominal =  $210 \text{ Kg. /cm.}^2$

Resistencia Promedio  $246 \text{ Kg. /cm.}^2$ , Relación Agua Cemento = 0.57

**Tabla XXXI. Diseños teóricos de concreto diseño tres**

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	377,19
ARENA (Ferroniquel)	2,20	63,78	831,59
PIEDRIN / GRAVA	2,59	124,51	976,22
AGUA LIBRE	0,57	24,23	215,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XXXII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño uno, ASTM C-39-05 para  $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$**

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 1227  
HOJA 1/1

O.T. No. 26010

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carné No. 94-19283

**ASUNTO:** ENSAYO A COMPRESION

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA".

**DIRECCION:** Santa Rosa

**FECHA:** 23 de Noviembre de 2,009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	116-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.610	15.200	107.49	1528.83
2	117-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.520	15.153	113.18	1609.81
3	118-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.630	15.153	128.27	1824.45
4	119-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.755	15.187	147.74	2101.38
5	120-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.756	15.225	124.58	1771.87
6	121-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.630	15.190	122.65	1744.45
7	122-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.810	15.233	192.88	2743.40
8	123-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.720	15.017	207.45	2950.64
9	124-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.640	15.103	191.15	2718.81

**OBSERVACIONES :**

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.- 1029 CII/USAC
- Correccion de cantidad de agua: según diseño de  $200 \text{ lt/m}^3$  a  $177.42 \text{ lt/m}^3$ .
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento en la mezcla fue de 6.5 cm.
- Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XXXIII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño dos, ASTM C-39-05 para  $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$**

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
**ASUNTO:** ENSAYO A COMPRESION  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA".  
**DIRECCION:** Santa Rosa  
**FECHA:** 23 de Noviembre de 2,009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DÍAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	125-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.450	15.110	126.48	1,798.95
2	126-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.510	15.083	128.20	1,823.37
3	127-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.430	15.300	128.29	1,824.73
4	128-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.580	15.103	156.97	2,232.67
5	129-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.500	15.200	154.98	2,204.36
6	130-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.530	15.130	158.94	2,260.69
7	131-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.650	15.153	204.98	2,915.54
8	132-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.550	15.110	203.63	2,896.31
9	133-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.616	15.157	189.81	2,699.71

**OBSERVACIONES :**

- a. Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- b. Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.- 1030 CII/USAC
- c. Correccion de cantidad de agua: según diseño de 215 lt/m<sup>3</sup> a 247.26 lt/m<sup>3</sup>.
- d. El interesado proporciono el material para la mezcla.
- e. El asentamiento en la mezcla fue de 8 cm.
- f. Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Tabla XXXIV. Resultados de resistencia de cilindros de concreto diseño tres, ASTM C-39-05 para  $f'_c = 210 \text{ Kg./cm}^2$**

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DÍAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	134-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.410	15.147	138.46	1,969.27
2	135-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.460	15.190	140.17	1,993.66
3	136-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.320	15.150	140.91	2,004.20
4	137-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.372	15.188	177.75	2,528.23
5	138-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.400	15.022	176.60	2,511.83
6	139-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.420	15.083	167.54	2,383.02
7	140-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.470	15.167	190.82	2,714.01
8	141-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.477	15.267	211.86	3,013.39
9	142-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.465	15.155	211.23	3,004.31

**OBSERVACIONES :**

- a. Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- b. Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.-1031 CII/USAC
- c. Corrección de cantidad de agua: según diseño de  $215 \text{ lt/m}^3$  a  $239.19 \text{ lt/m}^3$ .
- d. El interesado proporciono el material para la mezcla.
- e. El asentamiento en la mezcla fue de 6.5 cm.
- f. Resistencia del concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

Es necesario mencionar que todos los ensayos y análisis realizados a los agregados se hicieron sin alterar en ningún aspecto cualquier propiedad de las muestras ya sea física, mecánica o químicamente, estudiando todos los materiales tal cual fueron tomados en los respectivos bancos. Tal cual son despachados a los compradores.

Las tablas de resultados de los Ensayos destructivos realizados a los cilindros según la Norma ASTM C-39 los cuales se realizaron en el Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería, presentadas nos ilustraron el aceptable desempeño de los agregados estudiados.

Los cilindros alcanzaron la resistencia mínima calculada para su diseño, que es 3,000 PSI lo cual comprueba que los agregados son aptos para la elaboración de concreto.



## CONCLUSIONES

1. Los agregados de los bancos estudiados presentan gran similitud en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, las cuales se encuentran dentro de los parámetros aceptables, según las normas ASTM C aplicadas para su estudio, lo cual se debe a el hecho que los tres bancos explotan el mismo río, usando los mismos procesos de extracción y producción de agregados.
2. La composición de los materiales corresponde a rocas de origen volcánico esencialmente basaltos, que contienen en el caso de los agregados finos una considerable cantidad de vidrio volcánico y cuarzos principalmente en los tamices 50 y 100, pero que no sobrepasan el 50% del porcentaje del material, lo cual es aceptable según la Norma ASTM C-295-08.
3. Los agregados gruesos presentaron una granulometría dentro de los parámetros de las normas, lo que denota un buen manejo de los procesos de producción en la trituración. En cuanto al ensayo de Reactividad Potencial Alcalina los resultados fueron satisfactorios. Los resultados de los agregados gruesos a la norma ASTM C-131 ensayo de desgaste por abrasión en máquina de los ángeles para agregado grueso, nos dieron resultados satisfactorios teniendo un porcentaje de desgaste de 24.92 % el banco dos y 22.30 % el banco tres, considerando que el 40% es el porcentaje máximo de desgaste permitido.
4. La granulometría en el caso de los agregados finos en bancos dos y tres presentó cierta deficiencia en el “módulo de finura” que se salio de los parámetros requeridos por la Norma ASTM C-33-08, dejándolos como

unos materiales gruesos no convenientes, pues, mejorarlos requiere procesos antieconómicos, además podrían afectar la resistencia del concreto.

5. Se determinó en los ensayos practicados a todos los agregados, la presencia de materia orgánica en niveles aceptables, lo cual no disminuye, altera o cambia en ningún aspecto el desempeño de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados analizados.
6. En los agregados estudiados, el peso específico, el peso unitario y el porcentaje de vacíos se mantuvieron dentro de los límites establecidos por el ACI para el diseño de concretos, por lo cual los podemos considerar aptos para su utilización en la elaboración de concreto.
7. Los diseños prácticos de mezcla demostraron que sí es posible lograr con estos materiales un concreto de alta resistencia a un costo aceptable, pero será necesario compensar las deficiencias de los agregados, con proporciones más específicas, lo cual implica un mayor y eficiente control al momento de preparar el concreto en obra. Podemos ilustrar este beneficio al analizar más a fondo los resultados logrados al combinar el Agregado Fino del banco uno y el agregado grueso del banco tres.

## RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la granulometría de los agregados finos, recomiendo verificar y mejorar el sistema de tamizado, ya que el material obtenido es muy grueso, lo cual no es aconsejable para la elaboración de concretos de alta resistencia. Para lo cual se debe hacer uso del tamiz 9.5 mm (No. 3/8). Mejorar la granulometría del fino beneficiaria obteniendo una reducción del aire incorporado al diseño de mezcla, incrementando la resistencia.
2. Hacer periódicamente los ensayos respectivos para mejorar y certificar la calidad de los materiales ofrecidos al público, lo cual es de beneficio para el productor como para el consumidor.
3. En cuanto a la presencia de material orgánico, el cual es muy perjudicial para el concreto, actualmente los bancos bajo estudio se encuentran dentro de los límites permisibles de la Norma ASTM C-33-08, pero este parámetro puede variar considerablemente en un corto tiempo, por lo cual recomendamos darle un énfasis muy especial a el control de este parámetro.
4. El control de la cantidad de agua en la mezcla, cuando se utiliza arenas muy gruesas requiere ser más estricto y cuidadoso, tal es el caso de los agregados finos obtenidos en los tres bancos en estudio, hubo que hacer ajustes al diseño teórico.



## BIBLIOGRAFÍA.

1. ASTM Book of standards. Standard specification for concrete aggregates. USA: ASTM C-33-01 Vol. 04.02. 2002.
2. Bruhns, W. Petrografía. (Colección Labor). Barcelona-Buenos Aires: Editorial Labor, S.A. 195pp.
3. Chan Yam, José Luis y otros. "Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto". Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. (México) (7-2): 39. 2003
4. Kosmatka, Steven H. y otros. Diseño y control de mezclas de concreto. EE.UU: Portland Cement Association (PCA), 2004. 468pp.
5. Martinez Patzan, Rudy Estuardo. "CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA" Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009.120 pp.
6. Mehta, Kumar y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), 1998. 381pp.
7. Nilson, Arthur H. Diseño de estructuras de concreto. Duodécima edición. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A. 2005. 722pp.

8. Ordóñez Gabriel, Mejicanos Dilma y Alvarado Paulino. Manual de laboratorio del curso de materiales de construcción. Guatemala: 2002. 145pp.

9. Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 71pp.

10. Salguero Girón, Raúl Armando. Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la Ciudad de Quetzaltenango. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 68pp.

11. Valdez, Pedro y otros. "Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante". Ciencia. Universidad Autónoma de Nuevo León. (México) (10): 49. 2007.

12. Asociación de Investigaciones Biodinámicas., "Clasificación química de los minerales", <<http://www.practiciencia.com.ar/ctierrayesp/tierra/estructura/rocas/min/minerales/clasifica/index.html>>, 2004

## **ANEXOS.**

**Informes de ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería –CII- y Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.**



Figura 27. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino banco uno Sigma Constructores

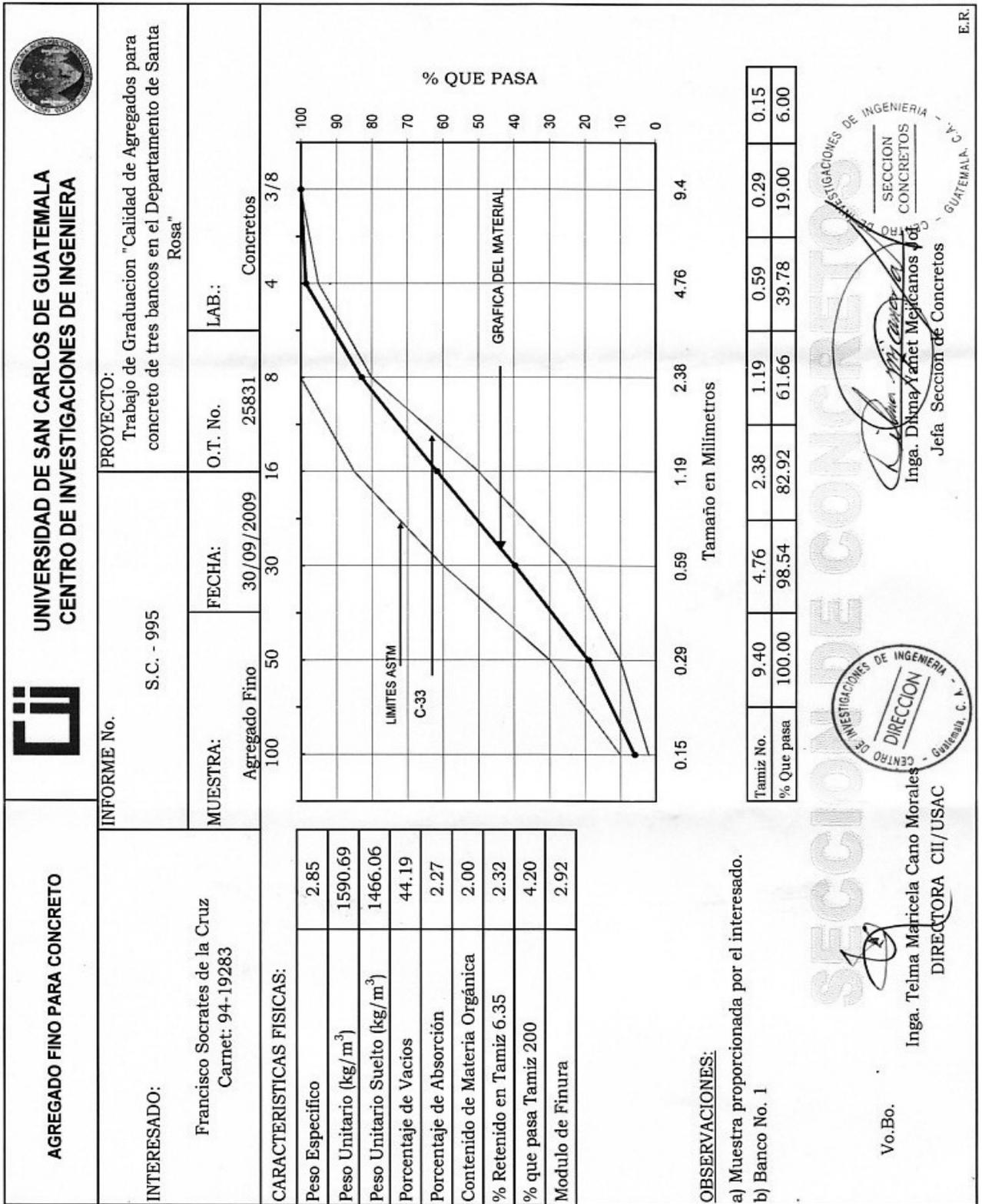


Figura 28. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino banco dos AGREGUA, TYRSA  
 "Los Esclavos".

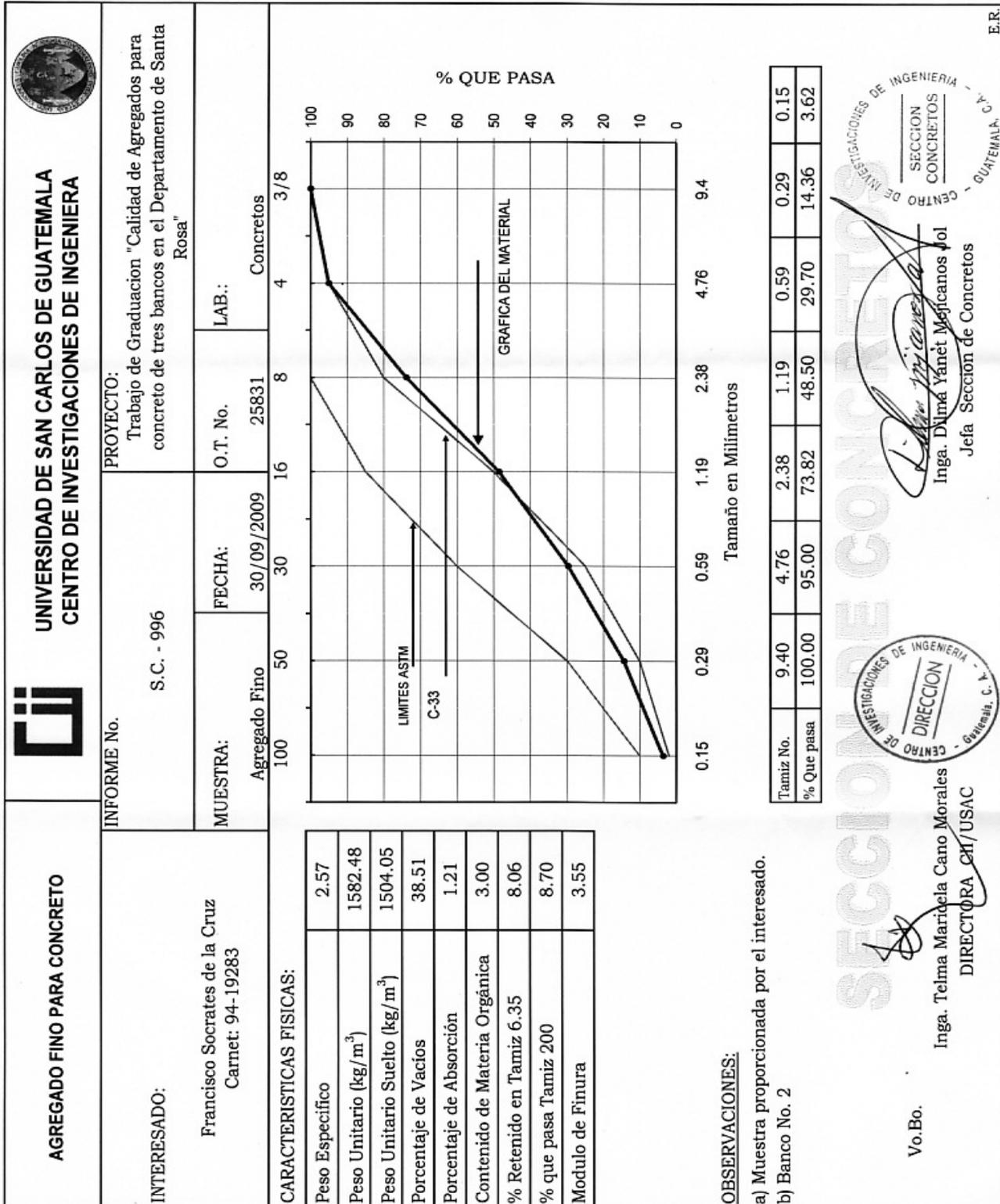


Figura 29. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino banco tres Piedrinera "Las Cañas".

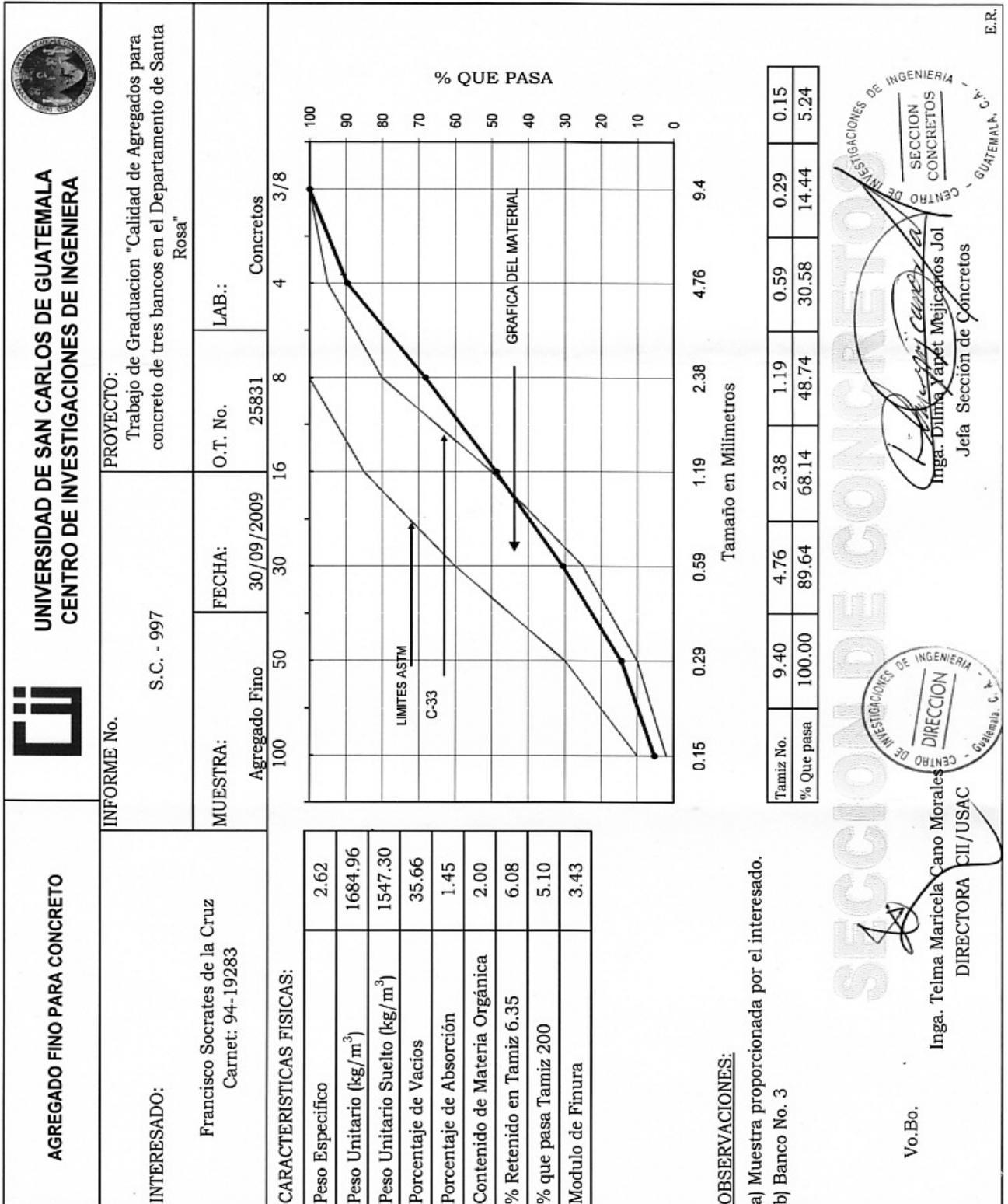


Figura 30. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos".

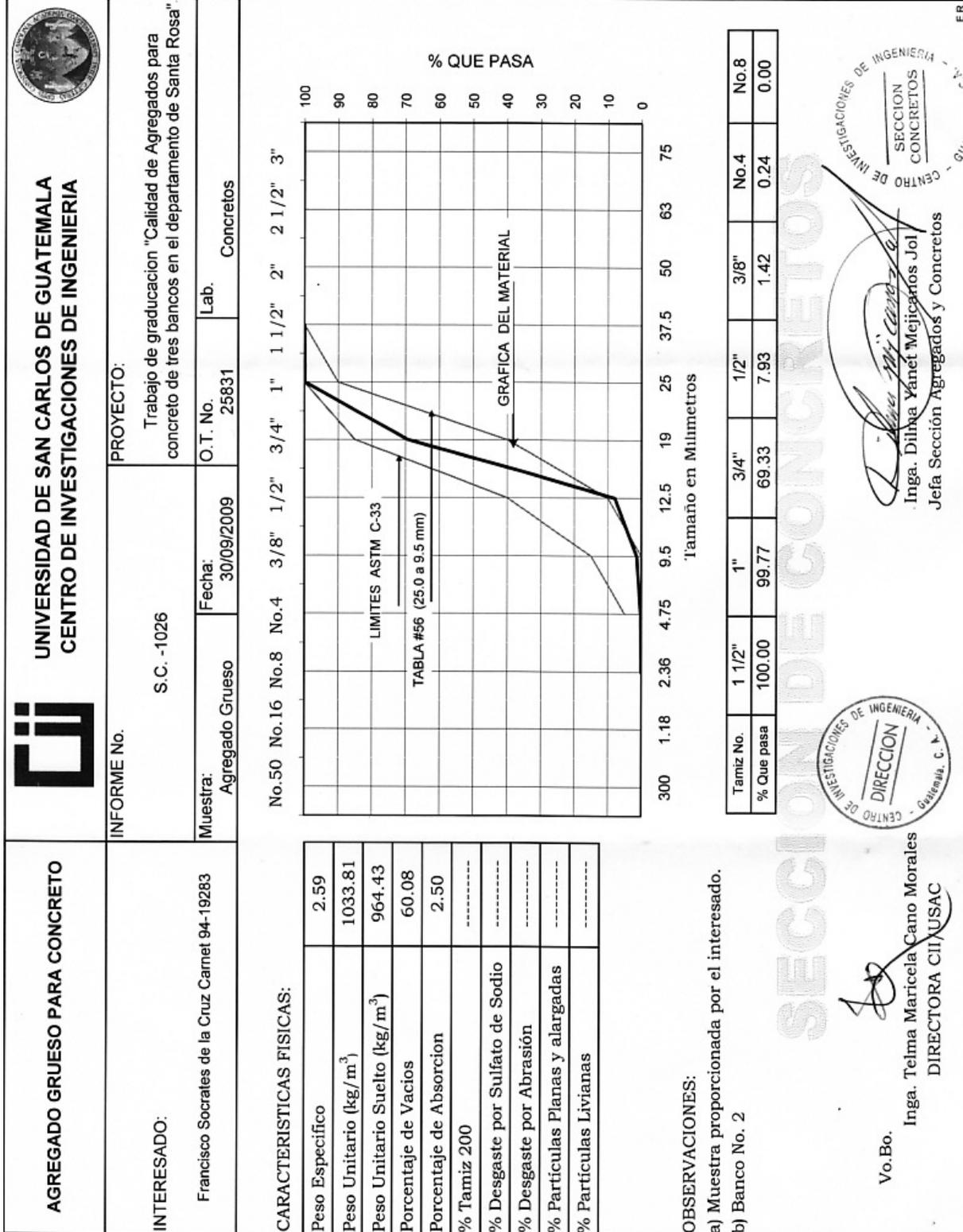


Figura 31. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso banco tres Piedrinerá "Las Cañas".

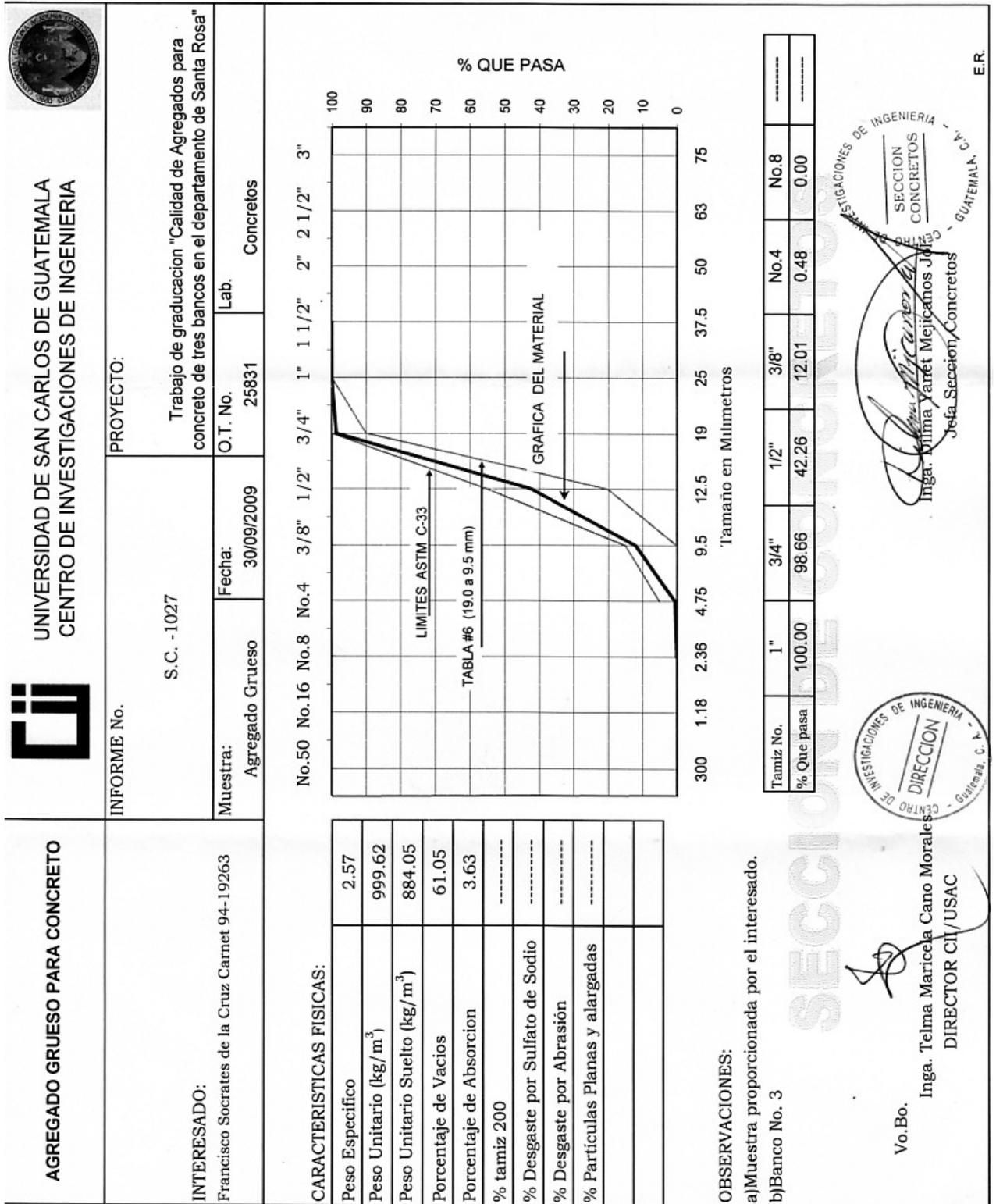


Figura 32. Informe de la norma ASTM C-131-06 agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos" y agregado grueso banco tres "Piedrinera Las Cañas".



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 009315**

---

INFORME No. S.C. 1044

O.T. No. 26008

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carnet No. 94-19283

**ASUNTO:** ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA."

**PROCEDENCIA:** Santa Rosa.

**FECHA:** 5 de Octubre de 2009

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	Banco 2	Banco 3	*****	*****
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	ASTM C-131	*****	*****
2. Graduación	"B"	"B"	*****	*****
3. % Desgaste	24.92	22.30	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC





Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jd  
Jefa Sección de Concretos



Figura 33. Informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos" y agregado grueso banco tres Piedrinera "Las Cañas".



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 00468**

O.T. No. 26011  
Informe Lab. No. 057-09

Interesado: Francisco Sócrates de la Cruz  
Muestra: 2 muestras de agregado grueso  
Fecha: Guatemala 09 de Octubre de 2009

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289

Muestra	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Banco No. 2	210.19 ± 36.36	136.45±34.14	<b>INOCUO</b>
Banco No. 3	311.24 ± 49.11	126.54±23.14	<b>INOCUO</b>

\*Muestra proporcionada por el interesado.

Ing. César Alfonso García Guerra  
Jefe  
Sección Química Industrial-CII-



Vo. Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

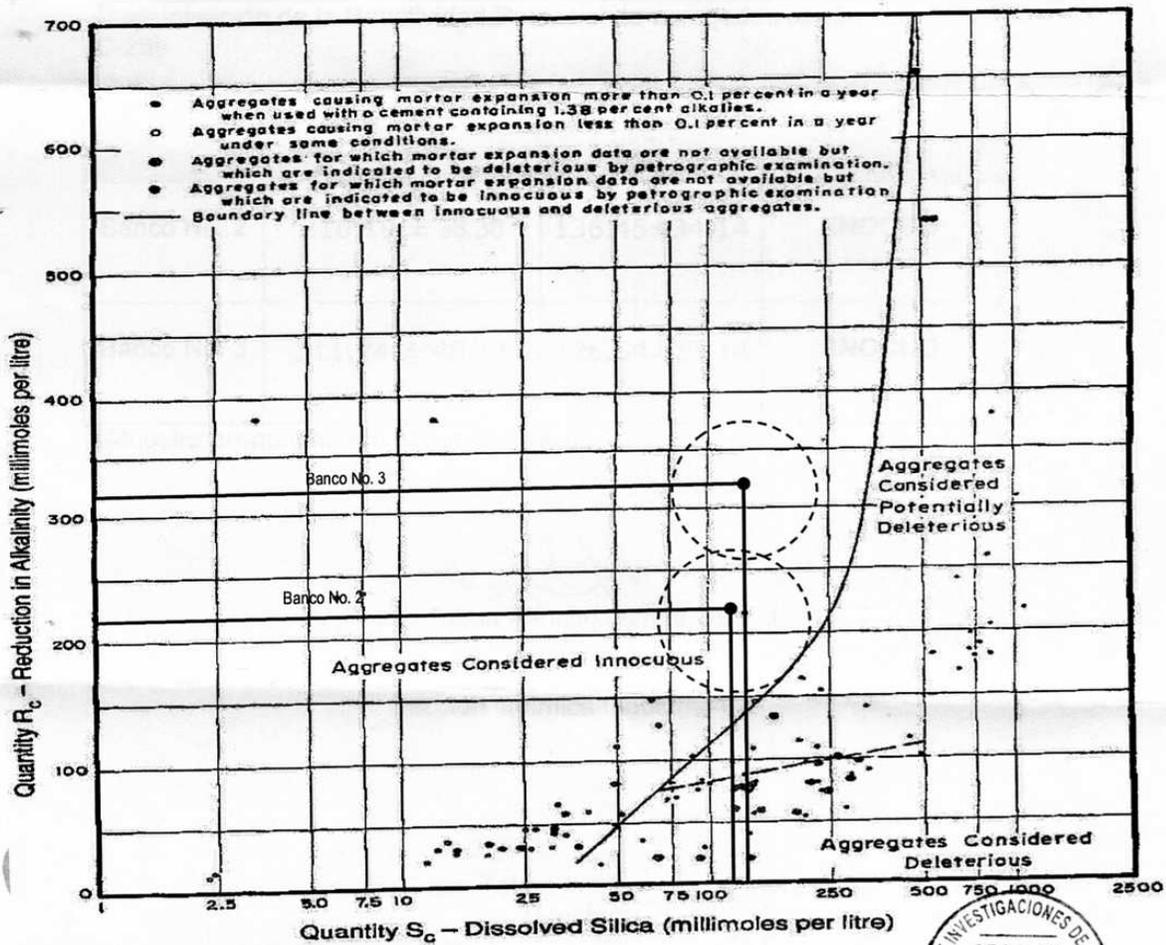


Adjunto graficas

Figura 34. Gráfica del informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos" y agregado grueso banco tres Piedrinera "Las Cañas".

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA

Orden de Trabajo No. 057-09



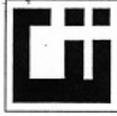
Gráfica tomada de la norma ASTM C- 289



A. AGREGADO CONSIDERADO INOCUO:	RESULTADO DE LA MUESTRA
B. AGREGADO CONSIDERADO DELETEREO:	
C. AGREGADO CONSIDERADO POTENCIALMENTE DELETEREO	

A	
B	
C	

Figura 35. Informe del diseño teórico de mezcla uno, agregado fino y grueso banco dos  
AGREGUA, TYRSA "Los Esclavos"  $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ .



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 009297**

O.T. No.26009

INFORME No. S.C. 1029

INTERESADO: Francisco Sócrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"  
 DIRECCION: Ciudad  
 ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
 FECHA: 01 de Octubre de 2 009

**3. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino del Banco 2 y grueso del Banco 2, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 4 000 psi ( $280 \text{ kg/cm}^2$ ), con Cemento UGC, de Cementos Progreso.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.3 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 996  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 1026

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal  $210 \text{ kg/cm}^2$   
 3.2 Resistencia Promedio Requerida  $246 \text{ kg/cm}^2$   
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
 3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	350,88
ARENA (Ferroniquel)	2,32	65,56	813,61
PIEDRIN / GRAVA	2,95	130,00	1035,51
AGUA LIBRE	0,57	24,23	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.3 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Atentamente,

Vo.Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Sol  
 Jefa Sección de Concretos

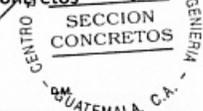


Figura 36. Informe del diseño teórico de mezcla dos, agregado fino y grueso banco tres, Piedriner "Las Cañas",  $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$ .



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 009298

O.T. No.26009

INFORME No. S.C. 1030

INTERESADO: Francisco Sócrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"  
 DIRECCION: Ciudad  
 ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
 FECHA: 01 de Octubre de 2 009

**4. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino del Banco 3 y grueso del Banco 3, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 4 000 psi ( $280 \text{ kg/cm}^2$ ), con Cemento UGC, de Cementos Progreso.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.4 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 997  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 1027

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal  $210 \text{ kg/cm}^2$   
 3.2 Resistencia Promedio Requerida  $246 \text{ kg/cm}^2$   
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
 3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	377,19
ARENA (Ferroniquel)	2,20	60,43	831,59
PIEDRIN / GRAVA	2,59	124,51	976,22
AGUA LIBRE	0,57	24,23	215,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.4 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Atentamente,

Vo.Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Concretos

Figura 37. Informe del diseño teórico de mezcla tres agregado fino banco uno, Sigma Constructores; agregado grueso banco tres "Piedrinera Las Cañas"  $f'c = 210 \text{ Kg. /cm}^2$ .



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 0092**

---

O.T. No.26009

INFORME No. S.C. 1031

INTERESADO: Francisco Sócrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"  
 DIRECCION: Ciudad  
 ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
 FECHA: 01 de Octubre de 2 009

---

**5. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino del Banco 1 y grueso del Banco 3, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 4 000 psi (280 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC, de Cementos Progreso.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.5 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 995  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 1027

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
 3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	377,19
ARENA (Ferroniquel)	2,20	63,78	831,59
PIEDRIN / GRAVA	2,59	124,51	976,22
AGUA LIBRE	0,57	24,23	215,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.5 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Atentamente,




Vo.Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Concretos



Figura 38. Informe de Análisis Petrográfico de agregado grueso de banco dos AGREGUA TYRSA "Los Esclavos" identificado como muestra uno.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES  
DE ENERGÍA Y MINAS  
- CESEM -  
Tel.: 24 18 91 39

CESEM 095-2009.

Guatemala, 29 de Octubre de 2009.

Señor  
Francisco Sócrates de la Cruz Hernández  
23 ave. 1-08, zona 6, Colonia Los Ángeles  
Ciudad

**ASUNTO: Trabajo de Graduación Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería, USAC.**

Señor de la Cruz:

Por este medio sírvase encontrar el análisis Petrográfico macroscópico de las muestras que se indican:

**MUESTRA No. 1**

BANCO No. 2 (Agregado Grueso)  
Lugar de muestreo: Aldea El Cielito, Cuilapa, Santa Rosa.  
Denominación: Tyrsa, Agregua, Los Esclavos.  
Presentación: Fragmentos de roca triturada.  
Textura de la roca: Afanítica (fina)  
Color: gris-gris oscuro  
Tipo: Roca ígnea extrusiva (volcánica)  
Nombre (s): Andesitas y Dacitas.  
Composición mineralógica: Principalmente feldspatos con piroxenos y anfíboles.  
Observaciones: No presenta sustancias deleznales.

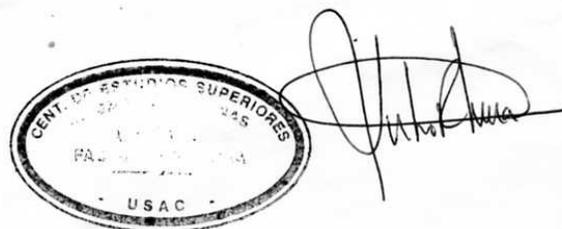


Figura 39. Informe de análisis petrográfico de agregado grueso de banco tres Piedrinera "Las Cañas", identificado como muestra dos.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES  
DE ENERGÍA Y MINAS  
- CESEM -  
Tel.: 24 18 91 39

**MUESTRA No. 2**

BANCO No. 3 (Agregado Grueso)

Lugar de muestreo: Aldea Amberes, Santa Rosa.

Denominación: Piedrinera Las Cañas.

Presentación: Fragmentos de roca triturada.

Textura de la roca: No clástica (química)

Color: gris claro.

Tipo: sedimentaria.

Nombre (s): Caliza.

Composición mineralógica: CALCITA y posiblemente DOLOMITA (carbonato de calcio y carbonato doble de calcio y magnesio, respectivamente).

Observaciones: No se observan sustancias deleznales.

Atentamente,

*"ID Y ENSEÑAD A TODOS"*

Ing. Julio Roberto Luna Aroche  
DIRECTOR

CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS -CESEM-

cc. archivo

/zv



Figura 40. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  diseño uno, agregado fino y grueso de banco dos AGREGUA TYRSA "Los Esclavos"



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 11659

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 1227  
HOJA 1/1

O.T. No. 26010

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
**ASUNTO:** ENSAYO A COMPRESION  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA".  
**DIRECCION:** Santa Rosa  
**FECHA:** 23 de Noviembre de 2,009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	116-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.610	15.200	107.49	1528.83
2	117-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.520	15.153	113.18	1609.81
3	118-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.630	15.153	128.27	1824.45
4	119-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.755	15.187	147.74	2101.38
5	120-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.756	15.225	124.58	1771.87
6	121-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.630	15.190	122.65	1744.45
7	122-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.810	15.233	192.88	2743.40
8	123-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.720	15.017	207.45	2950.64
9	124-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.640	15.103	191.15	2718.81

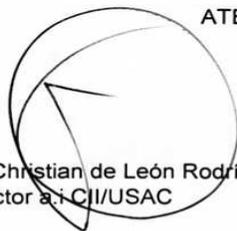
**OBSERVACIONES :**

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.- 1029 CII/USAC
- Correccion de cantidad de agua: según diseño de  $200 \text{ lt/m}^3$  a  $177.42 \text{ lt/m}^3$ .
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento en la mezcla fue de 6.5 cm.
- Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Ing. Pablo Christian de León Rodríguez  
Director a.i. CII/USAC



Inga. Lesbia Magali Herrera López  
Jefa a.i. Sección de Concretos



Figura 41. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para  $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$  diseño dos, agregado fino y grueso de banco tres Piedrinera "Las Cañas"



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 11660

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 1228  
HOJA 1/1

O.T. No. 26010

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carné No. 94-19283

**ASUNTO:** ENSAYO A COMPRESION

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA".

**DIRECCION:** Santa Rosa

**FECHA:** 23 de Noviembre de 2,009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	125-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.450	15.110	126.48	1,798.95
2	126-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.510	15.083	128.20	1,823.37
3	127-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.430	15.300	128.29	1,824.73
4	128-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.580	15.103	156.97	2,232.67
5	129-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.500	15.200	154.98	2,204.36
6	130-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.530	15.130	158.94	2,260.69
7	131-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.650	15.153	204.98	2,915.54
8	132-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.550	15.110	203.63	2,896.31
9	133-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.616	15.157	189.81	2,699.71

OBSERVACIONES :

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.- 1030 CII/USAC
- Correccion de cantidad de agua: según diseño de  $215 \text{ lt/m}^3$  a  $247.26 \text{ lt/m}^3$ .
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento en la mezcla fue de 8 cm.
- Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Ing. Pablo Christian de León Rodríguez  
Director a.i CII/USAC



Ing. Lesbia Magali Herrera López  
Jefa a.i. Sección de Concretos



Figura 42. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para  $f'c = 210 \text{ Kg./cm}^2$   
 Diseño tres, agregado fino de banco uno Sigma Constructores y agregado grueso de banco tres Piedrinera "Las Cañas"



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 11661

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 1229  
 HOJA 1/1

O.T. No. 26010

**INTERESADO:** Francisco Socrates de la Cruz. Carné No. 94-19283  
**ASUNTO:** ENSAYO A COMPRESION  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA".  
**DIRECCION:** Santa Rosa  
**FECHA:** 23 de Noviembre de 2,009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	134-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.410	15.147	138.46	1,969.27
2	135-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.460	15.190	140.17	1,993.66
3	136-11	09/10/2009	7	Diseño de Mezcla	12.320	15.150	140.91	2,004.20
4	137-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.372	15.188	177.75	2,528.23
5	138-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.400	15.022	176.60	2,511.83
6	139-11	09/10/2009	14	Diseño de Mezcla	12.420	15.083	167.54	2,383.02
7	140-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.470	15.167	190.82	2,714.01
8	141-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.477	15.267	211.86	3,013.39
9	142-11	09/10/2009	28	Diseño de Mezcla	12.465	15.155	211.23	3,004.31

- OBSERVACIONES :
- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
  - Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C.-1031 CII/USAC
  - Corrección de cantidad de agua: según diseño de  $215 \text{ lt/m}^3$  a  $239.19 \text{ lt/m}^3$ .
  - El interesado proporciono el material para la mezcla.
  - El asentamiento en la mezcla fue de 6.5 cm.
  - Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.  
 Ing. Pablo Christian de León Rodríguez  
 Director a.i CII/USAC



Inga. Lesbia Magali Herrera López  
 Jefa a.i. Sección de Concretos



EMG

**Figura 43. Apilamiento de agregado fino banco uno Sigma Constructores.**



Apilamiento cubierto con nylon para evitar que material se sature

**Figura 44. Material apilado, agregado grueso banco dos AGREGUA, TYRSA, “Los Esclavos”**



Apilamiento de agregado grueso, listo para despacho.

**Figura 45. Cinta transportadora, trituradora y tamizadota. Método y maquinaria utilizada en los tres bancos es muy similar. Banco uno Sigma Constructores**



**Figura 46. Trinchera cavada en lecho de río para extraer material, banco dos AGREGUA, TYRSA “Los Esclavos”.**



**Figura 47. Realizando prueba de cono de Abraham a diseño práctico**



Apisonando el material en Cono.



Prueba del slump, trabajabilidad

**Figura 48. Cilindros para ensayos destructivos**



En la fotografía Izquierda puede observarse los especimenes cilíndricos de 6 X 12 pulgadas, en la fotografía de la derecha puede observarse los cilindros nivelados en sus extremos con azufre, para ensayarlos.

**Figura 49. Ensayo destructivo realizado en CII, norma ASTM C-39**



## **Resumen de la norma ASTM C-227**

Este método de ensayo cubre la determinación de la susceptibilidad de combinaciones de cemento-agregado a reacciones expansivas que impliquen iones hidroxilo que asociados con los álcalis (sodio y potasio) por la medición de la aumento (o disminución) de longitud de barras de mortero que contiene la combinación durante el almacenamiento en condiciones prescritas de prueba.

Álcalis, participando en las reacciones expansivas generalmente se derivan del cemento; en algunas circunstancias pueden ser derivados de otros componentes del hormigón o de fuentes externas. Se reconocen dos tipos de reactividad de álcali de agregados:

Una reacción de alcalinos-sílice que implican ciertas rocas silíceas, minerales y gafas naturales o artificiales.

Una reacción de alcalinos-carbonato que impliquen la dolomita en determinados calcitas Dolomitas y calizas dolomíticas. El método no se recomienda como un medio para detectar la reacción de este última porque expansiones producción en el mortero-barra prueba por el álcali-carbonato reacción son generalmente mucho menor que los producidos por la reacción de alcalinos-sílice para combinaciones de tener efectos igualmente perjudiciales en servicio.

Los valores que se declaró en unidades del SI son para ser considerado como estándar.

Figura 50. Norma ASTM C-227

**ASTM** Designation: C 227 - 87

## Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 227; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.*

### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the susceptibility of cement-aggregate combinations to expansive reactions involving hydroxyl ions associated with the alkalis (sodium and potassium) by measurement of the increase (or decrease) in length of mortar bars containing the combination during storage under prescribed conditions of test.

1.2 Alkalies participating in the expansive reactions usually are derived from the cement; under some circumstances they may be derived from other constituents of the concrete or from external sources. Two types of alkali reactivity of aggregates are recognized: (1) an alkali-silica reaction involving certain siliceous rocks, minerals, and natural or artificial glasses and (2) an alkali-carbonate reaction involving dolomite in certain calcitic dolomites and dolomitic limestones. The method is not recommended as a means to detect the latter reaction because expansions produced in the mortar-bar test by the alkali-carbonate reaction (see Method C 586) are generally much less than those produced by the alkali-silica reaction for combinations having equally harmful effects in service.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- C 33 Specification for Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 109 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens)<sup>3</sup>
- C 289 Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.02.02 on Chemical Reactions of Aggregates in Concrete.  
Current edition approved Feb. 20, 1987. Published March 1987. Originally published as C 227 - 50 T. Last previous edition C 227 - 81. The current revision to this standard removed the expansion limits and referenced those given in Specification C 33. Section 4.5 was completely revised, 12.2 was added to Section 12, and Fig. 1 was added.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.  
<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

### 3. Significance and Use

3.1 Data correlating the results of tests performed using this method with performance of cement-aggregate combinations in concrete in service, results of petrographic examination of aggregates, and results of tests for potential reactivity of aggregates by chemical methods have been published in Test Method C 289 and should be consulted in connection with the use of results of tests performed using this method as the basis for conclusions and recommendations concerning the use of cement-aggregate combinations in concrete.

3.2 The results of tests performed using this method furnish information on the likelihood that a cement-aggregate combination is potentially capable of harmful alkali-silica reactivity with consequent deleterious expansion of concrete. Criteria to determine potential deleterious alkali-silica reactivity of cement-aggregate combinations from the results of this test method have been given in the Appendix of Specification C 33.

3.3 Insignificant expansion may result when potentially deleteriously reactive siliceous rocks are present in comparatively high proportion even when a high-alkali cement is used, probably because the alkali-silica reaction products are characterized by an alkali to silica ratio that is so low as to minimize uptake of water and swelling. Dolomitic aggregates that are deleteriously affected by the alkali-carbonate reaction when employed as coarse aggregate in concrete may not produce notable expansion in this method. Also, significant expansion may occur rarely in the test for reasons other than alkali-aggregate reaction, particularly the presence of sulfates in the aggregate that produce a sulfate attack upon the cement paste, ferrous sulfides (pyrite, marcasite, or pyrrhotite) that oxidize and hydrate with the release of sulfate, and materials such as free lime (CaO) or free

C 305 Method for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency<sup>3</sup>  
C 490 Specification for Apparatus for Use in Measurement of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete<sup>2,3</sup>  
C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in Testing of Hydraulic Cements and Concretes<sup>2,3</sup>  
C 586 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)<sup>2</sup>  
E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>2,3</sup>

Figura 50.a. Continuación de norma ASTM C-227

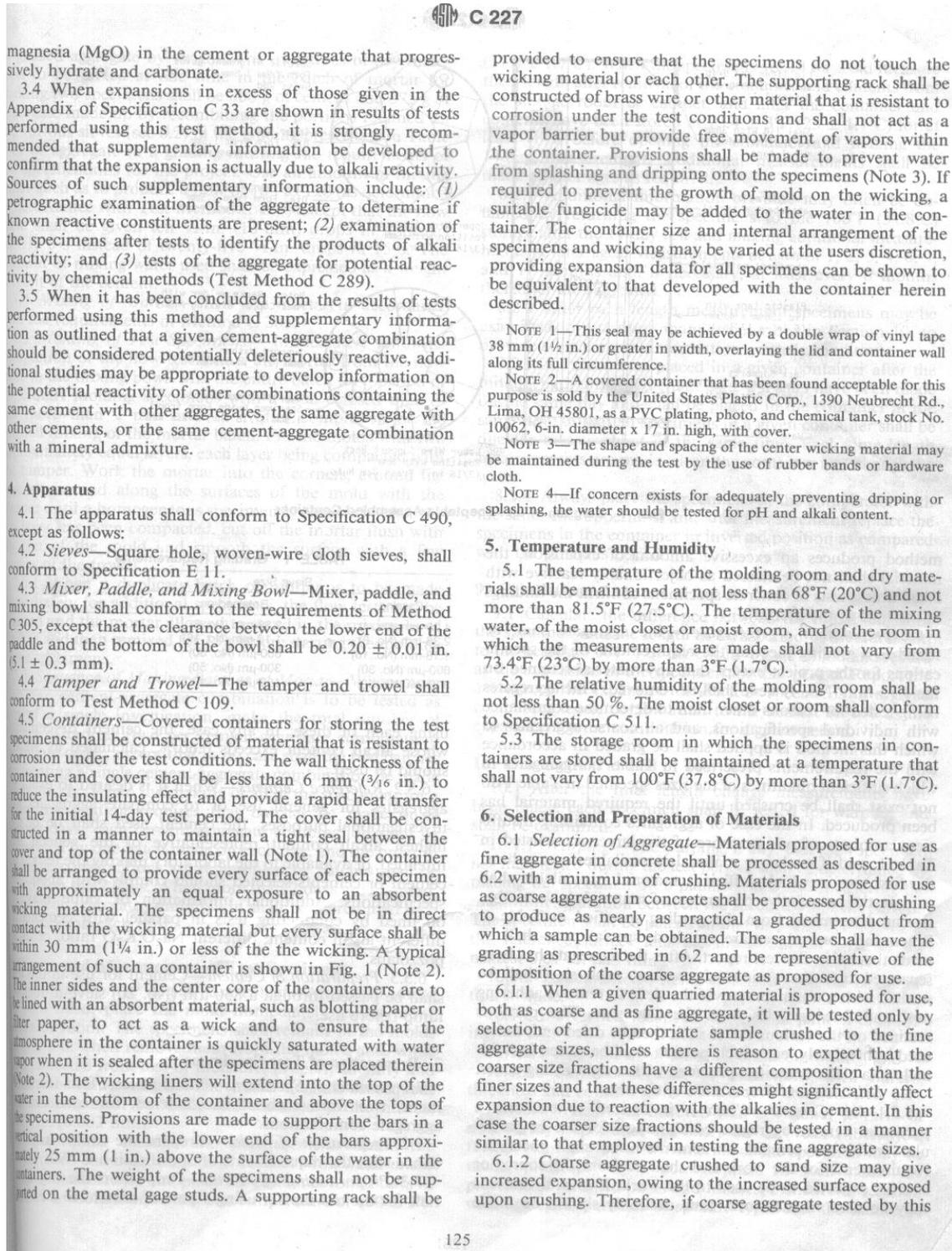


Figura 50.b. Continuación de norma ASTM C-227

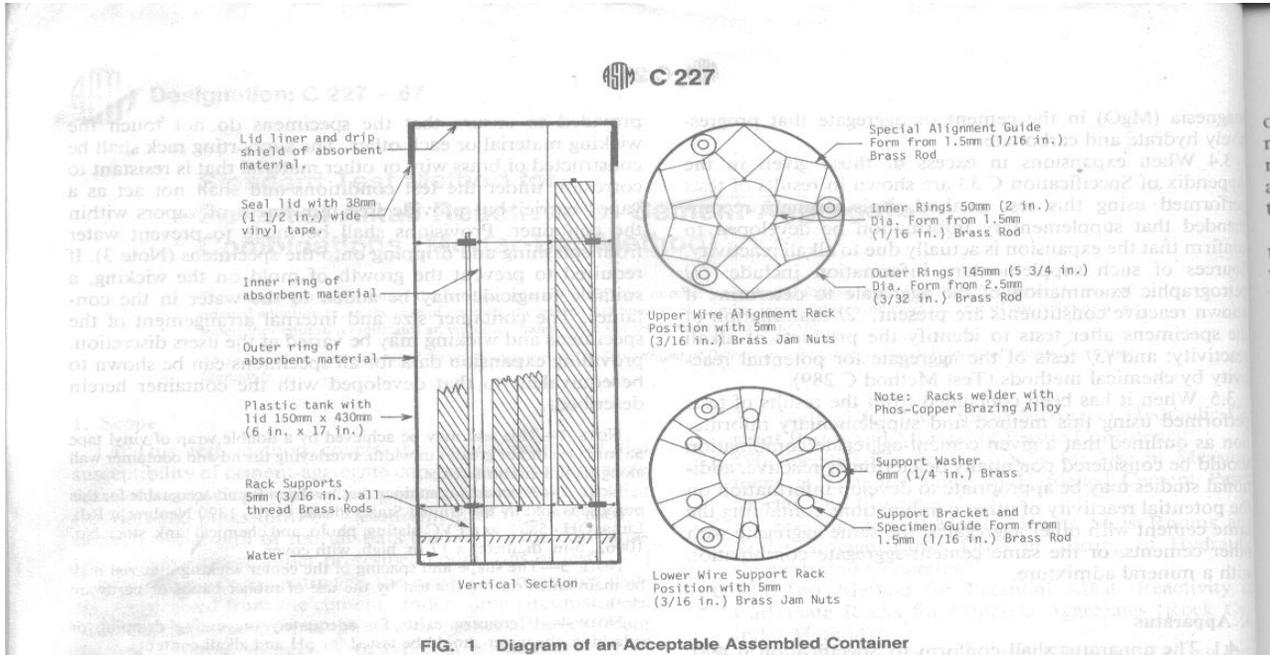


FIG. 1 Diagram of an Acceptable Assembled Container

method produces an excessive amount of expansion, the material shall not be classed as objectionably reactive with alkali unless tests of concrete specimens confirm the findings of the tests of the mortar.

6.2 *Preparation of Aggregate*—Fine aggregate shall be tested in a grading meeting the requirements of the specifications for the project except that any material retained on the 4.75-mm (No. 4) sieve shall be removed. Fine aggregates being tested for reasons other than to determine compliance with individual specifications, and all coarse aggregates to which this method is applied shall be graded in accordance with the requirements prescribed in Table 1. Aggregates in which sufficient quantities of the sizes specified in Table 1 do not exist shall be crushed until the required material has been produced. In the case of aggregates containing insufficient amounts of one or more of the larger sizes listed in Table 1, and if no larger material is available for crushing, the first size in which sufficient material is available shall contain the cumulative percentage of material down to that size as determined from the grading specified in Table 1. When such procedures are required, special note shall be made thereof in the test report. After the aggregate has been separated into the various sieve sizes, each size shall be washed with a water spray over the sieve to remove adhering dust and fine particles from the aggregate. The portions retained on the various sieves shall then be dried and, unless used immediately, each such portion shall be stored individually in a clean container provided with a tight-fitting cover.

6.3 *Selection and Preparation of Cement:*

6.3.1 *Job Cement*—When it is desired to evaluate a particular cement-aggregate combination for use in particular work, the cement or cements used shall meet the requirements for the work and shall be from the source or sources expected to be used in the work. If several cements may be used in the work, tests desirably should be made

TABLE 1 Grading Requirements

Sieve Size		Weight %
Passing	Retained on	
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	10
2.36-mm (No. 8)	1.18-mm (No. 16)	25
1.18-mm (No. 16)	600-µm (No. 30)	25
600-µm (No. 30)	300-µm (No. 50)	25
300-µm (No. 50)	150-µm (No. 100)	15

using each of these; in any case, the cement or cements whose alkali content exceeds 0.60 %, calculated as Na<sub>2</sub>O, should be used.

6.3.2 *Reference Cements*—When it is desired to evaluate aggregates for general use or to compare aggregates for investigational purposes, the cement used shall be of the highest alkali content representative of the general use intended, or available to the laboratory making the tests. The cement or cements selected should comply with applicable specifications. Additional information of value may be obtained by conducting tests in parallel with cements of different alkali content, different Na<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O ratio, or using pozzolans.

6.3.3 *Preparation of Cement*—Cement for use in this test shall be passed through a 850-µm (No. 20) sieve to remove lump before use.

7. *Preparation of Test Specimens*

7.1 *Number of Specimens*—Make at least four test specimens, two from each of two batches, for each cement-aggregate combinations.

7.2 *Preparation of Molds*—Prepare the molds in accordance with the requirements of Specification C 490.

7.3 *Proportioning of Mortar*—Proportion the dry materials for the test mortar using 1 part of cement to 2.25 parts

Figura 50.c. Continuación de norma ASTM C-227

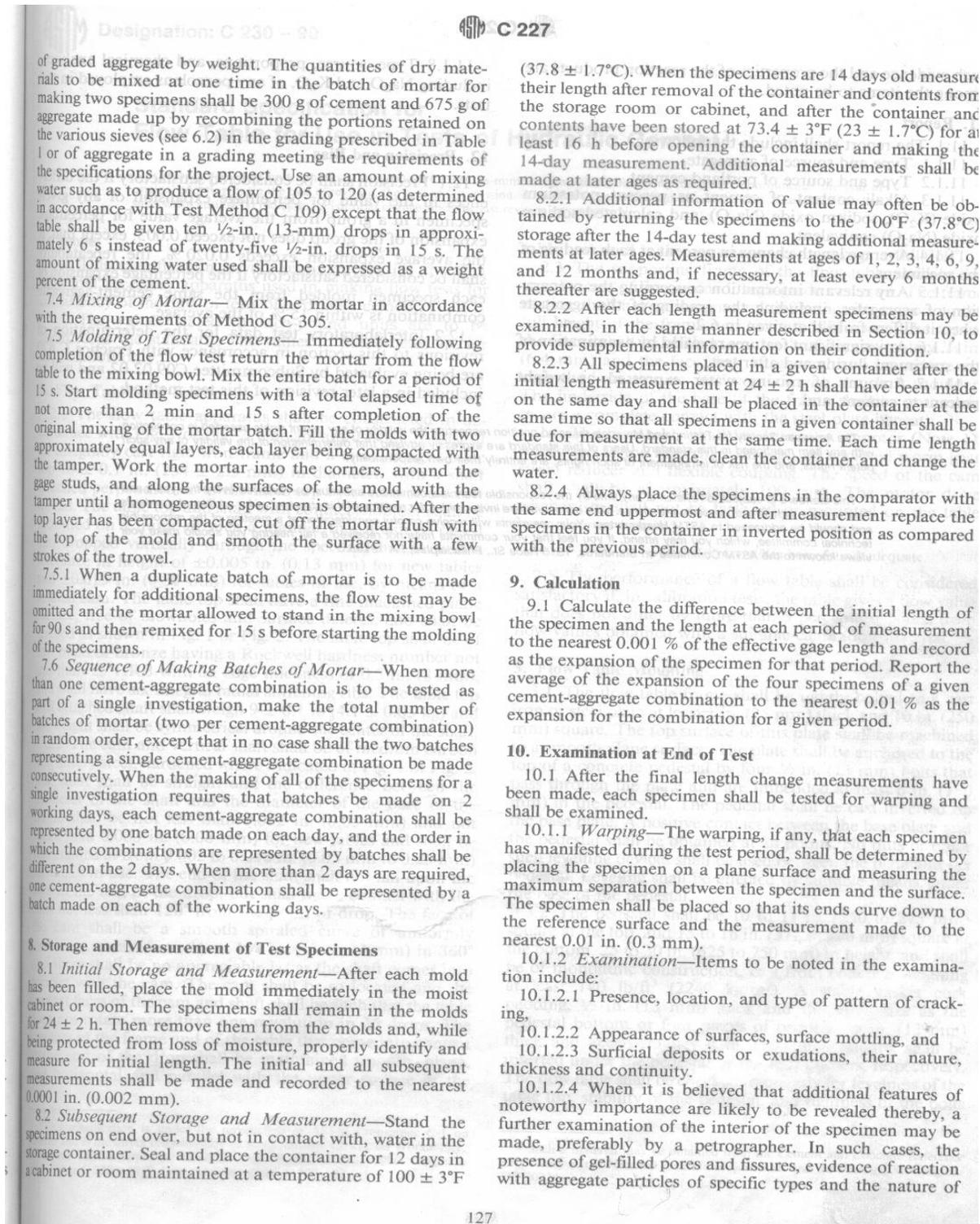


Figura 50.d. Continuación de norma ASTM C-227

**C 227**

such evidence and the properties of the reaction products are among the items to be noted.

**11. Report**

11.1 The report shall include the following:

- 11.1.1 Type and source of aggregate,
- 11.1.2 Type and source of portland cement,
- 11.1.3 Alkali content of cement as percent potassium oxide ( $K_2O$ ), sodium oxide ( $Na_2O$ ), and calculated sodium oxide ( $Na_2O$ ) equivalent,
- 11.1.4 Average length change in percent at each reading of the specimens,
- 11.1.5 Any relevant information concerning the preparation of aggregates, including the grading of the aggregate when it differs from that given in 6.2,
- 11.1.6 Any significant features revealed by examination of the specimens during and after test,
- 11.1.7 Amount of mixing water expressed as weight percent to cement, and

11.1.8 Type, source, proportions, and chemical analyses, including  $Na_2O$  and  $K_2O$ , of any pozzolans employed in the tests.

**12. Precision and Bias**

12.1 Precision shall be considered satisfactory if the differences in the value for percentage expansion of any given specimen in a group from the average value for percentage expansion of the group does not exceed 0.003, except that, if the average expansion exceeds 0.020 %, the repeatability shall be considered satisfactory if the percentage expansion of each specimen molded from the same cement-aggregate combination is within 15 % of the average.

12.2 Interlaboratory test data for the determination of revisions to this section in accordance with Practice C 670 are being evaluated by Subcommittee C09.02.02 and will be included in a later revision of this test method.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.*

## **Resumen de la norma ASTM C-330**

Esta especificación comprende los agregados de peso ligero para uso en concreto estructural en el que las consideraciones principales son la reducción de la densidad, manteniendo la resistencia a la compresión del hormigón. Procedimientos contemplados en esta especificación no están destinados para el control de trabajos de hormigón. Existen dos tipos generales de agregados ligeros están cubiertos por el presente pliego de condiciones: los agregados preparados por la ampliación, granulado, o sinterización de productos como la escoria de alto horno, la arcilla, diatomita, cenizas o pizarra, y los agregados preparados por el procesamiento de materiales naturales, como la piedra pómez, escoria o toba.

Los agregados que estará compuesto predominantemente de peso ligero el material inorgánico celular y granular. Áridos ligeros deberán ser probados, y no debe contener cantidades excesivas de sustancias nocivas, y debe ajustarse a los valores especificados de las impurezas orgánicas, se agrega la tinción, la pérdida total de la ignición, trozos de arcilla y partículas friables, densidad aparente suelta, resistencia a la compresión, la contracción por secado, la resistencia a la congelación y descongelación.

Figura 51. Norma ASTM C-330

**ASTM** Designation: C 330 - 89

## Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 330; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This specification covers lightweight aggregates intended for use in structural concrete in which prime considerations are lightness in weight and compressive strength of the concrete. Procedures covered in this specification are not intended for job control of concrete.

1.2 With regard to sieve sizes and the size of aggregate as determined by the use of testing sieves, the values in inch-pound units are shown for the convenience of the user; however, the standard sieve designation shown in parentheses is the standard value as stated in Specification E 11.

1.2.1 With regard to other units of measure, the values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

NOTE 1—This specification is regarded as adequate to ensure satisfactory lightweight aggregates for most concrete. It is recognized that it may be either more or less restrictive than needed for some conditions and for special purposes, such as fire resistance, fill, and concrete constructions, the use of which is based on load tests rather than conventional design procedures.

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- C 29/C 29M Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate<sup>2</sup>
- C 33 Specification for Concrete Aggregates<sup>3</sup>
- C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>
- C 40 Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete<sup>2</sup>
- C 114 Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement<sup>3</sup>
- C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>
- C 142 Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates<sup>2</sup>
- C 151 Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement<sup>3</sup>
- C 157 Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete<sup>2,3</sup>
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory<sup>2</sup>

496 Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>

567 Test Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete<sup>2</sup>

641 Test Method for Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates<sup>2</sup>

666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>2</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

### 3. General Characteristics

3.1 Two general types of lightweight aggregates are covered by this specification, as follows:

3.1.1 Aggregates prepared by expanding, pelletizing, or sintering products such as blast-furnace slag, clay, diatomite, fly ash, shale, or slate, and

3.1.2 Aggregates prepared by processing natural materials, such as pumice, scoria, or tuff.

3.2 The aggregates shall be composed predominately of lightweight-cellular and granular inorganic material.

### 4. Chemical Composition

4.1 Lightweight aggregates shall not contain excessive amounts of deleterious substances, as determined by the following limits:

4.1.1 *Organic Impurities (Test Method C 40)*—Lightweight aggregates that, upon being subjected to test for organic impurities, produce a color darker than the standard shall be rejected, unless it can be demonstrated that the discoloration is due to small quantities of materials not harmful to the concrete.

4.1.2 *Staining (Test Method C 641)*—An aggregate producing a heavy or very heavy stain shall be rejected when the material making up the stain is found upon chemical analysis to contain an iron content, expressed as  $Fe_2O_3$ , equal to or greater than 1.5 mg/200 g of sample.

4.1.3 *Loss on Ignition (Methods C 114)*—The loss on ignition of lightweight aggregates shall not exceed 5 %.

NOTE 2—Certain processed aggregates may be hydraulic in character, and may be partially hydrated during production; if so, the quality of the product is not usually reduced thereby. Therefore, consideration should be given to the type of material when evaluating the product in terms of ignition loss.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee 09.03.06 on Methods of Testing and Specifications for Lightweight Aggregate and Concrete.

Current edition approved Oct. 27 1989. Published December 1989. Originally published as C 330 - 53 T. Last previous edition C 330 - 87.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.01, 04.02, and 14.02.

Figura 51.a. Continuación de norma ASTM C-330

5. Physical Properties

5.1 Lightweight aggregate under test shall meet the following requirements:

5.1.1 *Clay Lumps*—The amount of clay lumps shall not exceed 2 % by dry weight.

5.1.2 *Grading*—The grading shall conform to the requirements shown in Table 1.

5.1.3 *Uniformity of Grading*—To ensure reasonable uniformity in the grading of successive shipments of lightweight aggregate, fineness modulus shall be determined on samples taken from shipments at intervals stipulated by the purchaser. If the fineness modulus of the aggregate in any shipment differs by more than 7 % from that of the sample submitted for acceptance tests, the aggregate in the shipment shall be rejected, unless it can be demonstrated that it will produce concrete of the required characteristics.

5.1.4 *Unit Weight*—The unit weight of the lightweight aggregates shall conform to the requirements shown in Table 2.

5.1.5 *Uniformity of Unit Weight*—The reported unit weight of lightweight aggregate shipments, sampled and tested, shall not differ by more than 10 % from that of the sample submitted for acceptance tests.

5.2 Concrete specimens containing lightweight aggregate under test shall meet the following requirements:

5.2.1 *Compressive Strength (Test Method C 39), Unit Weight (Test Method C 567), and Splitting Tensile Strength (Test Method C 496)*—Compressive strength and unit weight shall be an average of three specimens and the splitting tensile strength shall be the average of eight specimens. It shall be possible to produce structural concrete using the lightweight aggregates under test, so that from the same batch of concrete one or more of the compressive strength requirements and splitting tensile strength requirements in the following table will be satisfied without exceeding the corresponding maximum unit weight values. Intermediate values for strength and corresponding unit weight values may be established by interpolation (see Note 3).

Average Air Dry 28-day Unit Weight max, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Average 28-day Splitting Tensile Strength, min, psi (MPa)	Average 28-day Compressive Strength, min, psi (MPa)
All Lightweight Aggregate		
110 (1760)	320 (2.2)	4000 (28)
105 (1680)	300 (2.1)	3000 (21)
100 (1600)	290 (2.0)	2500 (17)
Sand/Lightweight Aggregate		
115 (1840)	330 (2.3)	4000 (28)
110 (1760)	310 (2.1)	3000 (21)
105 (1680)	300 (2.1)	2500 (17)

NOTE 3—Materials that do not meet the minimum average splitting tensile strength requirement may be used provided the design is modified to compensate for the lower value.

5.2.2 *Natural Sand*—Natural sand replacement for part, or all, of the lightweight-aggregate fines may be used to determine compliance with these minimum requirements, provided that the proposed structural concrete usage contemplates similar combination of materials. The test report shall record the proportion of all ingredients and the characteristics of the natural sand as specified in Specification C 33.

5.2.3 *Drying Shrinkage*—The drying shrinkage of con-

crete specimens prepared and tested as described in the method for preparation of samples for shrinkage of concrete shall not exceed 0.07 %.

5.2.4 *Popouts*—Concrete specimens prepared as described in the method for preparation of sample for shrinkage of concrete and tested in accordance with Test Method C 151 shall show no surface popouts.

5.2.5 *Durability*—In the absence of a proven record of satisfactory durability in structural concrete, lightweight aggregates may be required to pass a concrete freezing and thawing test satisfactory to the purchaser.

6. Sampling

6.1 Sample lightweight aggregates in accordance with Practice D 75.

7. Number of Tests

7.1 *Tests on Aggregate*—One representative sample is required for each test for organic impurities, staining, loss on ignition, grading, unit weight, and clay lumps.

7.2 *Tests on Concrete*—At least three specimens are required for each of the following tests of concrete: compressive strength, shrinkage, unit weight, resistance to freezing and thawing, and presence of popout materials. At least eight concrete specimens are required for splitting tensile strength tests.

8. Test Methods

8.1 *Compressive Strength (Test Method C 39)*—Make test specimens in accordance with Practice C 192. Cure specimens in accordance with Practice C 192 until the time of test, or follow the curing procedures for the air dry unit weight (Test Method C 567). When the latter procedure is used, remove the specimens from the moist curing at the age of 7 days and store at 73.4 ± 3°F (23 ± 1.7°C) with a relative humidity of 50 ± 5 % until the time of test.

8.2 *Splitting Tensile Strength*—Make 6 by 12-in. (152 by 305-mm) cylindrical test specimens in accordance with Practice C 192, cure, and test in accordance with Test Method C 496.

8.3 *Unit Weight of Concrete (Test Method C 567)*—Follow the procedures in Test Method C 567.

8.4 *Shrinkage of Concrete (Test Method C 157)*—Follow the procedures of Test Method C 157 with the following exceptions:

8.4.1 Prepare the concrete mixture using 564 lb of cement/yd<sup>3</sup> (335 kg/m<sup>3</sup>), admixture (if any), and with an air content of 6 ± 1 %. Adjust the water content so as to produce a slump of 2 to 4 in. (50 to 100 mm). Thoroughly consolidate the concrete in steel molds not smaller than 2 by 2 in. (50 by 50 mm) nor larger than 4 by 4 in. (100 by 100 mm) in cross section, and long enough to provide a 10 in. (250 mm) gage length. The surface of the concrete shall be steel troweled.

8.4.2 *Curing*—To prevent evaporation of water from the unhardened concrete, cover the specimen with a nonabsorptive, nonreactive plate or sheet of tough, durable, impervious plastic. Wet burlap may be used for covering, but care must be exercised to keep the burlap wet until the specimens are removed from the molds. Placing a sheet of

Figura 51. b. Continuación de norma ASTM C-330


**C 330**

Designation: C 330 - 89

**TABLE 1 Grading Requirements for Lightweight Aggregates for Structural Concrete**

Size Designation	Percentages (by Weight) Passing Sieves Having Square Openings								
	1 in. (25.0 mm)	¾ in. (19.0 mm)	½ in. (12.5 mm)	¾ in. (9.5 mm)	No. 4 (4.75- mm)	No. 8 (2.36- mm)	No. 16 (1.18- mm)	No. 50 (300- µm)	No. 100 (150- µm)
Fine aggregate: No. 4 to 0	100	100	100	100	85-100	40-80	10-35	5-25	
Coarse aggregate:									
1 in. to No. 4	95-100	100	25-60	10-50	0-10	0-15	...	...	...
¾ in. to No. 4	100	90-100	...	40-80	0-20	0-10	...	...	...
½ in. to No. 4	...	100	90-100	...	0-20	0-10	...	...	...
¾ in. to No. 8	...	...	100	...	80-100	5-40	0-20	0-10	...
Combined fine and coarse aggregate:									
½ in. to 0	...	100	95-100	...	50-80	...	...	5-20	2-15
¾ in. to 0	...	...	100	...	90-100	65-90	35-65	10-25	5-15

**TABLE 2 Unit Weight Requirements of Lightweight Aggregates for Structural Concrete**

Size Designation	Dry Loose Weight, max, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Fine aggregate	70 (1120)
Coarse aggregate	55 (880)
Combined fine and coarse aggregate	65 (1040)

plastic over the burlap will facilitate keeping it wet. Remove specimens from the molds not less than 20 nor more than 48 h after casting and store in a moist room maintained at 73.4 ± 3°F (23 ± 1.7°C) with a relative humidity of not less than 95%. At the age of 7 days, remove the specimens from the moist room, measure for length, and store in a curing cabinet maintained at 100 ± 2°F (37.8 ± 1.1°C) with a relative humidity of 32 ± 2%.

NOTE 4—The air immediately above a saturated solution of magnesium chloride (MgCl<sub>2</sub>) at 100°F (37.8°C) is approximately 32% relative humidity.

8.4.3 Report—After storage in the cabinet for 28 days, determine the change in length of each specimen to the nearest 0.01% of the effective gage length. Report the change in length as the drying shrinkage of the specimen; report the average drying shrinkage of the specimens as the drying shrinkage of the concrete.

8.5 Test for Popout Materials—Prepare concrete specimens for the test for popout materials as described in method for preparation of samples for shrinkage of concrete. Cure and autoclave the specimens in accordance with Test Method C 151. Visually inspect the autoclaved specimens for the number of popouts that have developed on the surface. Report the average number of popouts per specimen.

8.6 Test for Freezing and Thawing—Make freezing and thawing tests of concrete, when required, in accordance with Test Method C 666.

**TABLE 3 Weight of Sieve Test Sample for Fine Lightweight Aggregates**

Range of Nominal Weight of Aggregate	Weight of Test Sample, g		
		lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
5-15	50	80-240	50
15-25	100	240-400	100
25-35	150	400-560	150
35-45	200	560-720	200
45-55	250	720-880	250
55-65	300	880-1040	300
65-70	350	1040-1120	350

8.7 Grading (Method C 136)—Follow the procedures of Method C 136, except that the weight of the test sample for fine aggregate shall be in accordance with Table 3. The test sample for coarse aggregate shall consist of 0.1 ft<sup>3</sup> (2830 cm<sup>3</sup>) or more of the material used for the determination of unit weight. The aggregate, when mechanically sieved, shall be sieved for only 5 min.

8.8 Unit Weight (Loose) (Test Method C 29)—The aggregate shall be tested in an oven dry condition utilizing the shoveling procedure.

8.9 Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates—Test Method C 142.

**9. Rejection**

9.1 Material that fails to conform to the requirements of this specification may be rejected. Rejection shall be reported to the producer or supplier promptly and in writing.

**10. Certification**

10.1 When specified in the purchase order or contract, a producer's or supplier's certification shall be furnished to the purchaser that the material was manufactured, sampled, and tested in accordance with this specification and has been found to meet the requirements. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

## **Resumen de la norma ASTM C-331**

Esta especificación comprende los agregados de peso ligero para uso en las unidades de mampostería de hormigón cuando una consideración primordial es reducir la densidad de las unidades. Tres tipos generales de áridos ligeros son objeto del presente pliego de condiciones: los agregados preparados por la ampliación, el paletizado, o sinterización de productos como la escoria de alto horno, la arcilla, diatomita, cenizas, pizarra, o pizarra; agregados preparado a partir de materiales naturales como piedra pómez, escoria, o toba, y los agregados que consiste en productos finales de la combustión de carbón o coque. Los agregados que estará compuesto predominantemente de peso ligero el material inorgánico celular y granular. Los agregados no deberán contener cantidades excesivas de sustancias nocivas, según lo determinado por las impurezas orgánicas, manchas, y la pérdida en las pruebas de ignición. Agregado ligero de bajo prueba deberán cumplir los requisitos para bultos de arcilla y partículas friables, la uniformidad de clasificación, densidad aparente suelta, la uniformidad de la densidad aparente suelta, batazos, la resistencia a la congelación y descongelación y la contracción por secado.

Figura 52. norma ASTM C-331



Designation: C 331 - 89

## Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 331; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

### 1. Scope

1.1 This specification covers lightweight aggregates intended for use in concrete masonry units in which a prime consideration is lightness in weight.

1.2 With regard to sieve sizes and the size of aggregate as determined by the use of testing sieves, the values in inch-pound units are shown for the convenience of the user; however, the standard sieve designation shown in parentheses is the standard value as stated in Specification E 11.

1.2.1 With regard to other units of measure, the values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- C 29/C 29M Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate<sup>2</sup>
- C 40 Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete<sup>2</sup>
- C 114 Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement<sup>3</sup>
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>
- C 142 Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates<sup>2</sup>
- C 151 Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement<sup>3</sup>
- C 157 Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete<sup>2,3</sup>
- C 641 Test Method for Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing<sup>2</sup>
- D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>2,4</sup>
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.06 on Methods of Testing and Specifications for Lightweight Aggregate for Concrete.

Current edition approved Oct. 27, 1989. Published December 1989. Originally published as C 331 - 53 T. Last previous edition C 331 - 87.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

### 3. Classification

3.1 Three general types of lightweight aggregates are covered by this specification, as follows:

3.1.1 Aggregates prepared by expanding, pelletizing, or sintering products such as blast-furnace slag, clay, diatomite, fly ash, shale, or slate, and

3.1.2 Aggregates prepared by processing natural materials such as pumice, scoria, or tuff, and

3.1.3 Aggregates consisting of end products of coal or coke combustion.

3.2 The aggregates shall be composed predominately of lightweight-cellular and granular inorganic material.

### 4. Chemical Composition

4.1 Lightweight aggregates shall not contain excessive amounts of deleterious substances, as determined by the following limits:

4.1.1 *Organic Impurities* (Test Method C 40)—Lightweight aggregates that, upon being subjected to the test for organic impurities, produce a color darker than the standard shall be rejected, unless it can be demonstrated that the discoloration is due to small quantities of materials not harmful to the concrete.

4.1.2 *Staining* (Test Method C 641)—Lightweight aggregates that, upon being subjected to the test for staining materials, are classified as "heavy stain" or darker by the visual staining test, shall be tested by the chemical procedure, and aggregates that contain 1.5 mg or more of ferric oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) shall be rejected for use in masonry units.

4.1.3 *Loss on Ignition* (Methods C 114)—Loss on ignition of aggregates, consisting of end products of coal or coke combustion, shall not exceed 12%. Loss on ignition of other aggregates shall not exceed 5%.

NOTE 1—Certain processed aggregates may be hydraulic in character and may be partially hydrated during production; if so, the quality of the product is not reduced thereby. Other aggregates may, in their natural states, contain innocuous carbonates or water of crystallization, which will contribute to the loss on ignition. Therefore, consideration should be given to the type of material when evaluating the product in terms of ignition loss.

### 5. Physical Properties

5.1 Lightweight aggregates under test shall meet the following requirements:

5.1.1 *Clay Lumps*—The amount of clay lumps shall not exceed 2% by dry weight.

5.1.2 *Grading*—Grading shall conform to the requirements in Table 1, except as provided in (5.1.4).

5.1.3 *Uniformity of Grading*—To assure reasonable uniformity

Figura 52.a. Continuación de norma ASTM C-331


**C 331**

**TABLE 1 Grading Requirements for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units**

Percentages (by Weight) Passing Sieves Having Square Openings:

Size Designation	¾ in. (19.0 mm)	½ in. (12.5 mm)	¾ in. (9.5 mm)	No. 4 (4.75- mm)	No. 8 (2.36- mm)	No. 16 (1.18- mm)	No. 50 (300- µm)	No. 100 (150- µm)
Fine aggregate: No. 4 (4.75-mm) to 0			100	85-100	...	40-80	10-35	5-25
Coarse aggregate: ½ in. to No. 4 (12.5 to 4.75-mm)	100	90-100	40-80	0-20	0-10	...	...	...
¾ in. to No. 8 (9.5 to 2.36-mm)	...	100	80-100	5-40	0-20	0-10	...	...
Combined fine and coarse aggregate: ½ in. (12.5-mm) to 0	100	95-100	...	50-80	...	...	5-20	2-15
¾ in. (9.5-mm) to 0	...	100	90-100	65-90	35-65	...	10-25	5-15

uniformity in the gradation of successive shipments of lightweight aggregate, fineness modulus shall be determined on samples taken from shipments at intervals stipulated by the purchaser. If the fineness modulus of the aggregates in any shipment differs by more than 7 % from that of the sample submitted for acceptance tests, the aggregates in the shipment shall be rejected, unless it can be demonstrated that it will produce concrete of the required characteristics.

5.1.4 *Waiver of Grading Requirements*—When special characteristics of concrete masonry units are required, such as particular texture, strength, weight, acoustical, or thermal insulating property, the grading requirements may be waived upon agreement between the interested parties, provided the alternative grading will produce concrete of the required characteristics.

5.1.5 *Unit Weight*—Unit weight of lightweight aggregates shall conform to the requirements in Table 2.

5.1.6 *Uniformity of Unit Weight*—The reported unit weight of lightweight aggregate shipments sampled and tested, shall not differ by more than 10 % from that of the sample submitted for acceptance tests.

5.2 Concrete specimens containing lightweight aggregate under test shall meet the following requirements:

5.2.1 *Popouts*—Concrete specimens prepared and tested in accordance with 8.1 shall show no surface popouts.

5.2.2 *Durability*—In the absence of a proven record of satisfactory durability in masonry units, lightweight aggregates may be required to pass a concrete freezing and thawing test satisfactory to the purchaser.

5.2.3 *Drying Shrinkage*—Drying shrinkage of concrete specimens prepared and tested in accordance with 8.6 shall not exceed 0.10 %.

**6. Sampling**

6.1 Sample lightweight aggregates in accordance with Practice D 75.

**7. Number of Tests**

7.1 *Tests on Aggregates*—One representative sample is

**TABLE 2 Unit Weight Requirements of Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units**

Size Designation	Dry Loose Weight, max, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Fine aggregate	70 (1120)
Coarse aggregate	55 (880)
Combined fine and coarse aggregate	65 (1040)

required for each test for organic impurities, staining, clay lumps, loss on ignition, grading, and unit weight.

7.2 *Tests on Concrete Masonry Units*—Three specimens are required for test for popout materials.

**8. Test Methods**

8.1 *Test for Popout Materials*—Obtain test specimens by one of the following methods: (1) Whole concrete masonry units, free of visible cracks or other structural defects; (2) Portions of concrete masonry units cut from whole units and having a surface area of at least 90 in.<sup>2</sup>; (3) Specimens prepared as described in 8.6. Autoclave test specimens in accordance with Test Method C 151. Visually inspect the autoclaved specimens for the number of popouts that have developed on the surface and report the average number of popouts per specimen.

8.2 *Test for Freezing and Thawing*—Make freezing and thawing test of concrete, when required, in accordance with Test Method C 666.

8.3 *Grading*—Grade in accordance with Method C 136 except, that the weight of the test sample for fine aggregate shall be in accordance with Table 1. The test sample for coarse aggregate shall consist of 0.1 ft<sup>3</sup> (2830 cm<sup>3</sup>) or more of the material used for determination of unit weight. The aggregate when mechanically sieved shall be sieved for only 5 min.

8.4 *Unit Weight (Loose)* (Test Method C 29)—The aggregate shall be tested in oven-dry conditions utilizing the shoveling procedure.

8.5 *Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*, shall be in accordance with Test Method C 142.

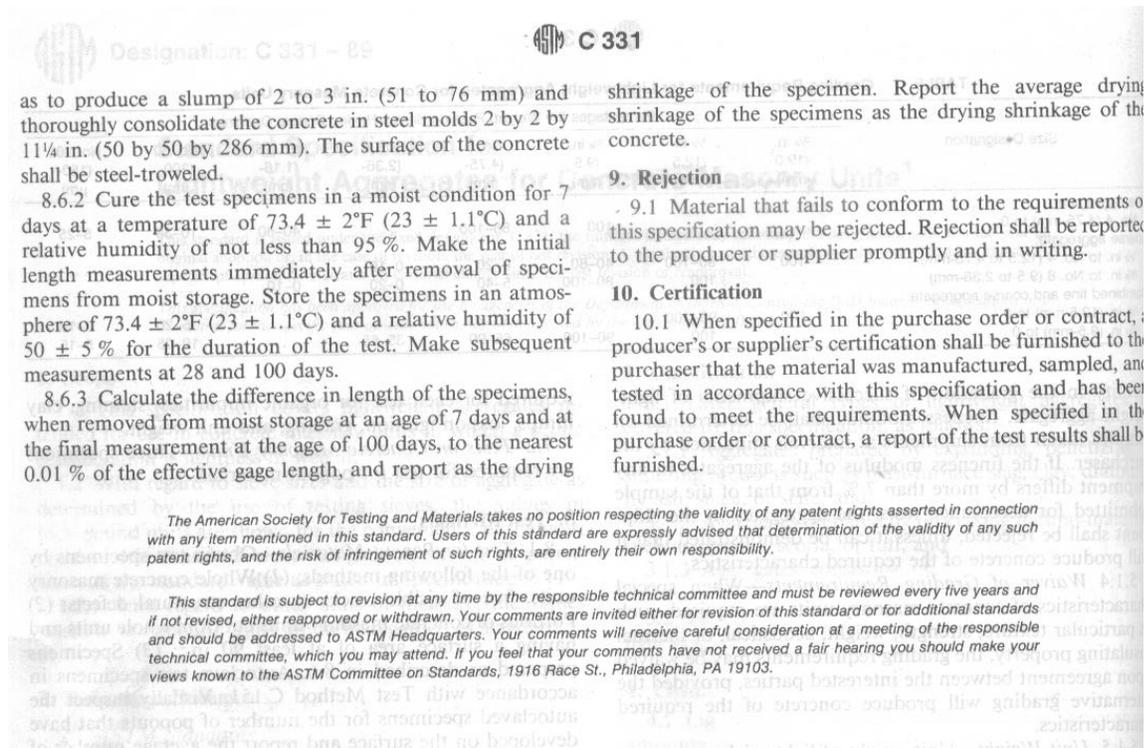
8.6 *Shrinkage of Concrete*, shall be in accordance with Test Method C 157, with the following exceptions:

8.6.1 Prepare a concrete mix in the proportions of one part portland cement to six parts combined aggregates, measured by dry loose volume. Adjust the water content so

**TABLE 3 Weight of Sieve Test Sample for Fine Lightweight Aggregates**

	Nominal Weight of Aggregate		Weight of Test Sample, g
	lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
	5-15	80-240	50
	15-25	240-400	100
	25-35	400-560	150
	35-45	560-720	200
	45-55	720-880	250
	55-65	880-1040	300
	65-70	1040-1120	350

Figura 52.b. Continuación de norma ASTM C-331



## **Resumen de la norma ASTM C-332**

Esta especificación comprende los agregados de peso ligero para uso en concreto no expuesto a la intemperie, en la que la principal consideración es la propiedad de aislamiento térmico del concreto resultante. Dos tipos generales de áridos ligeros son el grupo I de agregados, que son preparados por la expansión de productos, tales como perlita o vermiculita, y los agregados del grupo II que se preparan en otras lenguas, calcinación o sinterización de productos como la escoria de alto horno, la arcilla, diatomita, cenizas volantes, pizarra y los agregados preparados por el procesamiento de materiales naturales, como la piedra pómez, escoria, o toba.

Las propiedades de aislamiento térmico del concreto a partir de los áridos ligeros bajo prueba se ajustarán a la máxima conductividad térmica promedio indicado en el pliego de condiciones. Para garantizar la uniformidad razonable en la gradación de los traslados sucesivos de los agregados de peso ligero, módulo de finura deberá efectuarse periódicamente. El conjunto se compone fundamentalmente de ligero material inorgánico celular y granular. Los métodos de ensayo para propiedades de aislamiento concretos incluyen la preparación de muestras, a continuación, la determinación de densidad del concreto y determinación de la conductividad térmica. Cuando agregados ligeros cubiertos por esta especificación se entregan en paquetes, el nombre del fabricante, tipo de áridos, y la masa mínima y el volumen aproximado de los contenidos estará claramente indicado en él.

Figura 53. Norma ASTM C-332

**ASTM** Designation: C 332 - 87

## Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 332; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.*

### 1. Scope

1.1 This specification covers lightweight aggregates intended for use in concrete not exposed to the weather, in which the prime consideration is the thermal insulating property of the resulting concrete.

1.2 With regard to sieve size and the size of aggregate as determined by the use of testing sieves, the values in inch-pound units are shown for the convenience of the user; however, the standard sieve designation shown in parentheses is the standard value as stated in Specification E 11.

1.2.1 With regard to other units of measure, the values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

1.3 The following precautionary caveat pertains only to the test method portion, Section 6, of the specification: *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:  
 C 29/C 29M Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate<sup>2</sup>  
 C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>  
 C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>  
 C 177 Test Method for Steady-State Heat-Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate Apparatus<sup>3</sup>  
 D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>2</sup>

### Classification

3.1 Two general types of lightweight aggregate are covered in this specification as follows:  
 3.1.1 *Group I*—Aggregates prepared by expanding products such as perlite or vermiculite.

NOTE 1—These aggregates generally produce concrete weighing from 15 to 50 lb/ft<sup>3</sup> (240 to 800 kg/m<sup>3</sup>), the thermal conductivity of which may be expected to range from 0.45 to 1.50 Btu·in/h·ft<sup>2</sup>·°F (0.065 to 0.22 W/m·K).

3.1.2 *Group II*—Aggregates prepared by expanding, calcining, or sintering products such as blast-furnace slag, clay, diatomite, fly ash, shale, or slate; and aggregates prepared by processing natural materials, such as pumice, scoria, or tuff.

NOTE 2—These aggregates generally produce concrete weighing from 45 to 90 lb/ft<sup>3</sup> (720 to 1440 kg/m<sup>3</sup>), the thermal conductivity of which may be expected to range from 1.05 to 3.00 BTU·in/h·ft<sup>2</sup>·°F (0.15 to 0.43 W/m·K).

3.2 The aggregate shall be composed predominantly of lightweight cellular and granular inorganic material.

### 4. Physical Properties

4.1 *Insulating Properties*—The thermal insulating properties of concrete made from the lightweight aggregate under test shall conform to the following limits:

Maximum Average 28-Day Oven-Dry Unit Weight, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Maximum Average Thermal Conductivity, Btu·in/h·ft <sup>2</sup> ·°F (W·m·K)
50 (800)	1.50 (0.22)
90 (1440)	3.00 (0.43)

4.2 *Grading*—The grading shall conform to the requirements shown in Table 1.

4.2.1 *Uniformity of Grading*—To assure reasonable uniformity in the gradation of successive shipments of lightweight aggregates, fineness modulus determination shall be made periodically. If the fineness modulus of the aggregate differs by more than 7 % from that of the sample submitted for acceptance, the aggregate may be rejected, unless it can be demonstrated that it will produce concrete of the required characteristics.

4.3 *Unit Weight*—The unit weight of lightweight aggregates shall conform to the requirements shown in Table 2.

4.3.1 *Uniformity of Unit Weight*—The weight of successive shipments of lightweight aggregates shall not differ by more than 10 % from that of the sample submitted for acceptance.

### 5. Sampling and Testing for Aggregate Properties

5.1 Sample lightweight aggregates and determine the properties enumerated in this specification in accordance with the following methods:  
 5.1.1 *Sampling*—Practice D 75, except sample bagged materials by riffing and then quartering.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C 9.03.06 on Methods of Testing and Specifications for Lightweight Aggregate Concrete.  
 Current edition approved March 27, 1987. Published May 1987. Originally published as C 332 - 54 T. Last previous edition C 332 - 83.  
<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.  
<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.06.

Figura 53.a. Continuación de norma ASTM C-332



TABLE 1 Grading Requirements for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete

Size Designation	Weight Percent Passing Sieves								
	19.0-mm (¾-in.)	12.5-mm (½-in.)	9.5-mm (¾-in.)	4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	1.18-mm (No. 16)	600-µm (No. 30)	300-µm (No. 50)	150-µm (No. 100)
GROUP I									
Perlite	...	...	100	100	85 to 100	40 to 85	20 to 60	5 to 25	0 to 10
Vermiculite <sup>A</sup> (Coarse)	...	...	100	98 to 100	60 to 100	30 to 85	2 to 45	1 to 20	0 to 10
Vermiculite (Fine)	...	...	...	...	100	85 to 100	35 to 85	2 to 40	0 to 10
GROUP II									
Fine aggregate:	...	...	100	85 to 100	...	40 to 80	...	10 to 35	5 to 25
4.75-mm (No. 4) to 0	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Coarse Aggregate:	100	90 to 100	40 to 80	0 to 20	0 to 10	...	...	...	...
12.5 to 4.75-mm (½-in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9.5 to 2.36-mm (¾-in. to No. 8)	...	100	80 to 100	5 to 40	0 to 20	...	...	...	...
4.75 to 2.36-mm (No. 4 to No. 8)	...	...	100	90 to 100	0 to 20	...	...	...	...
Combined Fine and Coarse Aggregate:	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12.5-mm (½-in.) to 0	100	95 to 100	...	50 to 80	...	...	...	5 to 20	2 to 15
9.5-mm (¾-in.) to 0	...	90 to 100	65 to 90	35 to 65	...	...	10 to 25	5 to 15	...
	100	...	...	...	...	...	...	...	...

<sup>A</sup> Attention is directed to the need for adjustment in water content and air entrainment to achieve comparable oven-dry unit weights for the two gradings.

TABLE 2 Unit Weight Requirement for Lightweight Aggregates of Insulating Concrete

Size Designation	Dry Loose Weight lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	
	Min	Max
Group I:		
Perlite	7.5 (120)	12 (196)
Vermiculite	5.5 (88)	10 (160)
Group II:		
Fine aggregate	...	70 (1120)
Coarse aggregate	...	55 (880)
Combined fine and coarse aggregate	...	65 (1040)

5.1.2 Grading—Method C 136, except that when a mechanical sieving device is used, the sieving time shall be 5 min and the following modification shall apply:

5.1.2.1 Fine aggregate—The weight of the test sample shall be in accordance with the following table:

Nominal Weight lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Weight of Test Sample, g
5 to 15 (80 to 240)	50
15 to 25 (240 to 400)	100
25 to 35 (400 to 560)	150
35 to 45 (560 to 720)	200
45 to 55 (720 to 880)	250
55 to 65 (880 to 1040)	300
65 to 70 (1040 to 1120)	350

5.1.2.2 Coarse Aggregate—The sample shall be not less than 0.1 ft<sup>3</sup> (2830 cm<sup>3</sup>) of the material obtained in making the unit weight determination.

5.1.3 Unit Weight (Loose)—Test Method C 29 utilizing the shoveling procedure described in Section 10 of Test Method C 29, except test the aggregate in an oven-dry condition.

5.1.4 Fineness Modulus—Calculate as described in Test Method C 136.

## 6. Test Methods for Insulating Concrete Properties

6.1 Determine the unit weight and thermal conductivity of the concrete in accordance with the following methods:

6.1.1 Specimen Preparation—Prepare three specimens each type of test, applying the same composition a fabrication procedure as is proposed for use. Moist-cure specimens for 7 days and then remove them from the moist room and store at a temperature of 73.4 ± 3°F (23 ± 1.7°C) and at a relative humidity of 50 ± 5% until the time of test. Dry the specimens at the age of 28 days in an oven at 231 ± 18°F (110 ± 10°C) and weigh them at 24-h intervals until loss in weight does not exceed 1% in a 24-h period.

6.1.2 Unit Weight—Determine the unit weight for three specimens each of which has a volume of not less than 0.1 (2 L). Determine the weight and dimensions of the oven-dry specimens and compute the volume and the weight per cubic foot (or cubic metre) from the average data obtained.

6.1.3 Thermal Conductivity—Determine the thermal conductivity in accordance with Test Method C 177, except prepare and cure the specimens in accordance with 6.1.1. The dimensions of the specimens shall be as required for testing equipment available. Report the details of the composition and fabrication procedure used in preparing the specimens.

## 7. Rejection and Rehearing

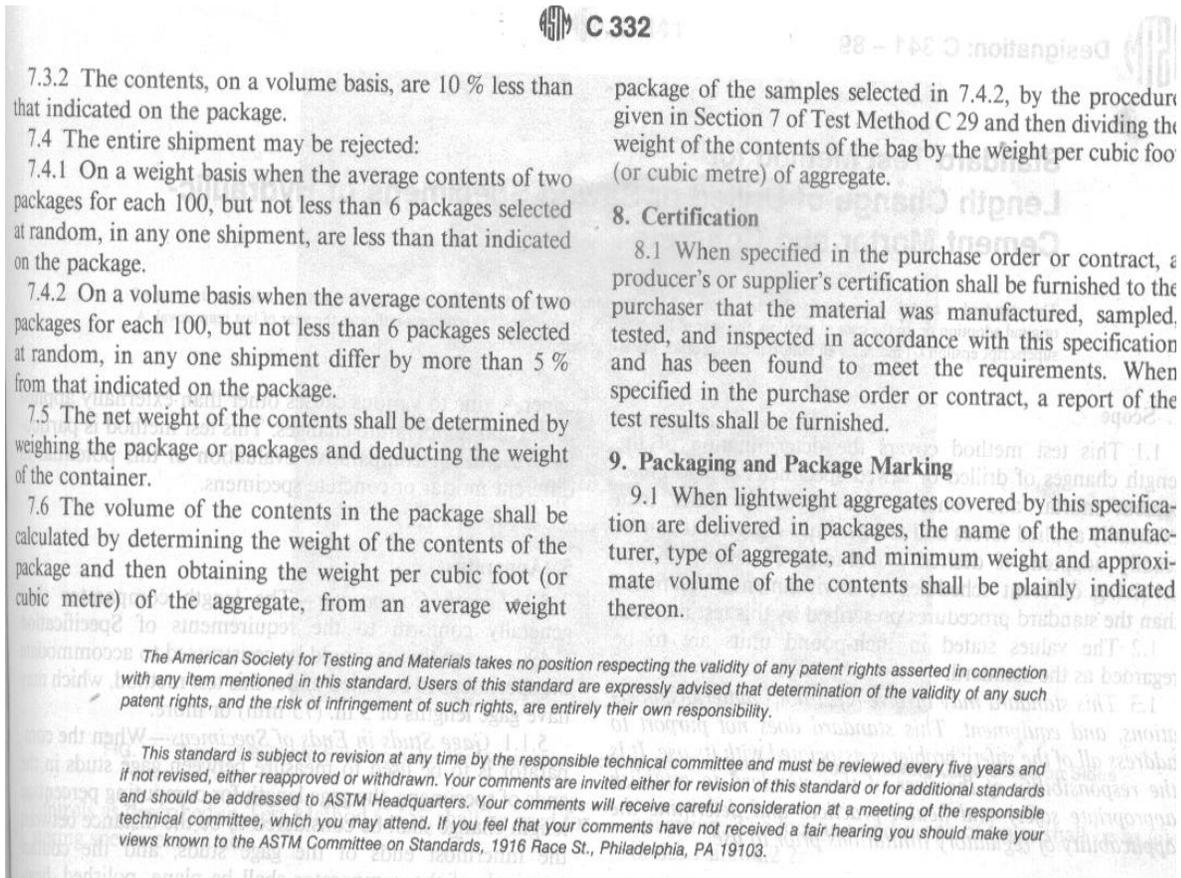
7.1 Material that fails to conform to the requirements of this specification may be rejected. Rejection should be reported to the producer or supplier promptly and in writing. In case of dissatisfaction with the result of the test, the producer or supplier may make claim for a rehearing.

7.2 The purchaser of materials covered by this specification shall have the option of evaluating these materials for rejection by either minimum weight or approximate volume as stated.

7.3 Individual packages may be rejected when:

7.3.1 The contents, on a weight basis, are 5% less than that indicated on the package, or

Figura 53.b. Continuación de norma ASTM C-332



## **Resumen de la norma ASTM C-632**

Los resultados de esta prueba indican si una chapa de acero hará que bajo un determinado conjunto de condiciones y esmaltado, permite que el procesador de esmalte para establecer una posible fuente de imperfecciones en la capa de acabado.

Este método se utiliza normalmente para analizar muestras de los lotes, bobinas, o los ascensores de chapa de acero que por alguna razón, los problemas de producción, los defectos evidentes en las piezas esmaltadas, o experiencia en la producción son sospechosos de causar defectos en cerámica esmaltada que tienen la apariencia de reboiling . A menudo se utiliza para establecer si existe un problema con el acero desnudo o con otros factores tales como el esmalte de porcelana, la transformación de contaminación, y así sucesivamente.



### **Resumen de la norma ASTM C-637**

Esta especificación comprende los agregados especiales para su uso en la radiación de blindaje "concretos" en el que la composición o la alta gravedad específica, o ambos, son de consideración primordial. Los agregados cubiertos por especificaciones incluyen los agregados minerales naturales o de alta densidad o de alto contenido de agua fijo, o ambos. Estos incluyen los agregados que contienen o están compuestos principalmente de materiales tales como barita, magnetita, hematita, ilmenita, y la serpentina.

También se incluyen los agregados sintéticos como el hierro, el acero, ferro fósforos y fritas de boro o de otros compuestos de boro. De agregado fino compuesta de arena natural o manufacturados, incluyendo los minerales de alta densidad. Agregado grueso puede consistir de mineral triturado, piedra triturada, o de productos sintéticos, o una combinación o mezcla de ellos. Agregados se reunirá la necesaria uniformidad de la gravedad específica y el contenido de agua fija. Los materiales deberán cumplir también la composición química requerida para la serpentina, hierro limonita, goethita, barita, ilmenita, hematita, magnetita, ferro fósforos, el carburo de boro, el carburo de calcio.

Figura 54. Norma ASTM C-637

**ASTM** Designation: C 637 - 84

## Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 637; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This specification covers special aggregates for use in radiation-shielding concretes in which composition or high specific gravity, or both, are of prime consideration.

1.2 The following precautionary caveat pertains only to the test method portion, Section 8, of this specification: *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- C 33 Specification for Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>
- C 128 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate<sup>2</sup>
- C 131 Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>2</sup>
- C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>

C 535 Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>2</sup>

C 638 Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete<sup>2</sup>

### 3. Classification

3.1 Aggregates covered by this specification include:

3.1.1 Natural mineral aggregates of either high density or high fixed water content, or both. These include aggregates that contain or consist predominately of materials such as barite, magnetite, hematite, ilmenite, and serpentine.

3.1.2 Synthetic aggregates such as iron, steel, ferrophosphorus and boron frit (see Descriptive Nomenclature C 638).

3.1.3 Fine aggregate consisting of natural or manufactured sand including high-density minerals. Coarse aggregate may consist of crushed ore, crushed stone, or synthetic products, or combinations or mixtures thereof.

### 4. Composition and Specific Gravity

4.1 Table 1 gives data on chemical composition and specific gravity of aggregate materials covered by this specification.

4.2 The purchaser shall specify the minimum specific gravity for each size and type of aggregate.

4.2.1 *Uniformity of Specific Gravity*—The bulk specific gravity (saturated surface-dry) of successive shipments of aggregate shall not differ by more than 3 % from that of the sample submitted for source approval tests. The average specific gravity of the total shipment shall be equal to or greater than the specified minimum.

#### TABLE 1 Composition and Specific Gravity of Aggregates Covered by This Specification

Predominant Constituent	Class of Material	Chemical Composition of Principal Constituent <sup>c</sup>	Specific Gravity of Available Aggregates
Serpentine <sup>a</sup>	crushed stone, hydrous silicate	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2.4 to 2.65
Ilmenite <sup>b</sup>	crushed stone, hydrous iron ore	(HFeO <sub>2</sub> ) <sub>x</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>y</sub>	3.4 to 3.8
Barite <sup>b</sup>	crushed stone, hydrous iron ore	HFeO <sub>2</sub>	3.5 to 4.5
Iron	gravel or crushed stone	BaSO <sub>4</sub>	4.0 to 4.4
Magnetite	crushed stone, iron ore	FeTiO <sub>3</sub>	4.2 to 4.8
Goethite	crushed stone, iron ore	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.6 to 5.2
Ferrophosphorus <sup>d</sup>	crushed stone, iron ore	FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4.6 to 5.2
Boron Frit	manufactured from iron/steel	Fe	6.5 to 7.5
	synthetic	Fe <sub>3</sub> P	5.8 to 6.3
	synthetic	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , CaO	2.6 to 2.8

<sup>a</sup> The fixed water content of serpentine ranges from 10 to 13 percent by weight.

<sup>b</sup> The fixed water content of ilmenite and goethite ranges from 8 to 12 percent by weight.

<sup>c</sup> When it is necessary to minimize the production of long-lived secondary radiation in the shield, or to avoid using materials having inherent radioactivity, the purchaser should specify limits on the contents of objectionable elements.

<sup>d</sup> Ferrophosphorus when used in portland cement concrete will generate flammable and possibly toxic gases which can develop high pressures if confined. See Sandberg, T. G., Kellam, B., and MacInnis, C., "Hydrogen Evolution from Ferrophosphorus Aggregate in Portland Cement Concrete," *Journal of the American Concrete Institute*, No. 12, December 1968. (*Proceedings*, Vol 65, pp. 1021-1028), and Mather, Bryant, discussion of Davis, Harold S., "Concrete for Radiation Shielding—In perspective," and closure by author in "Concrete for Nuclear Reactors," *Journal of the American Concrete Institute* SP-34, Vol 1, 1972, pp. 11-13.

Figura 54.a. Continuación de norma ASTM C-637

4.3 The purchaser shall specify the minimum fixed water content of hydrous ores. If the design temperature,  $T$ , is different from that given in 8.1.3.5, the purchaser shall specify the value of  $T$ .

4.3.1 *Uniformity of Fixed Water Content*—For hydrous aggregates the fixed water content of successive shipments of aggregate shall not be less than 95 % of the specified minimum value. The average fixed water content of the total shipment shall be equal to or exceed the specified minimum value.

5. Aggregate Grading

5.1 *Sieve Analysis*—Fine and coarse aggregates for conventionally placed concrete shall be graded within the limits given in Specification C 33, except that with the approval of the purchaser, as much as 20 % of the material passing the 9.5-mm (3/8-in.) sieve may also pass the 150- $\mu$ m (No. 100) sieve, with up to 10 % passing the 75- $\mu$ m (No. 200) sieve if the material passing the 75- $\mu$ m (No. 200) sieve is essentially free of clay or shale.

5.1.1 Fine and coarse aggregates for preplaced aggregate concrete shall be graded according to the requirements of Table 2 and as follows:

Specific Gravity of Fine Aggregate	Grading of Aggregate	
	Coarse Aggregate	Fine Aggregate
Up to 3.0	Grading 1	Grading 1
Greater than 3.0	Grading 1	Grading 2
Full range	Grading 2	Grading 2

5.1.2 When boron frit is used as part of the fine aggregate, the grading shall be such that 100 % passes the 4.75-mm (No. 4) sieve and not more than 5 % passes the 600- $\mu$ m (No. 30) sieve.

5.2 *Fineness Modulus*—If the fineness modulus of the fine aggregate varies more than 0.2 from the value corresponding to that of the sample submitted for acceptance, the fine aggregate shall be rejected unless suitable adjustments

TABLE 2 Grading Requirements for Coarse and Fine Aggregates for Preplaced Aggregate Concrete

Sieve Size	Percentage Passing	
	Grading 1 For 37.5-mm (1½-in.) nominal, Maximum Size Aggregate	Grading 2 For 19.0-mm (¾-in.) nominal, Maximum Size Aggregate
Coarse Aggregate		
50-mm (2-in.)	100	...
37.5-mm (1½-in.)	95 to 100	100
25.0-mm (1-in.)	40 to 80	95 to 100
19.0-mm (¾-in.)	20 to 45	40 to 80
12.5-mm (½-in.)	0 to 10	0 to 15
9.5-mm (¾-in.)	0 to 2	0 to 2
Fine Aggregate		
2.36-mm (No. 8)	100	...
1.18-mm (No. 16)	95 to 100	100
600- $\mu$ m (No. 30)	55 to 80	75 to 95
300- $\mu$ m (No. 50)	30 to 55	45 to 65
150- $\mu$ m (No. 100)	10 to 30	20 to 40
75- $\mu$ m (No. 200)	0 to 10	0 to 10
Fineness modulus	1.30 to 2.10	1.00 to 1.60

are made in concrete proportions to compensate for the difference in grading.

6. Deleterious Substances

6.1 Fine and coarse aggregates shall meet the requirements of Specification C 33.

6.2 Boron frit shall not contain more than 2.0 % of water-soluble material.

NOTE—This limit is based on concrete mixtures containing no more than 300 kg/m<sup>3</sup> (500 lb/yd<sup>3</sup>) of boron frit.

7. Abrasion Resistance of Coarse Aggregate

7.1 Coarse aggregate shall have an abrasion loss not greater than 50 % when tested in accordance with Test Method C 131, or Test Method C 535, as applicable. Coarse aggregate failing to meet this requirement may be used provided it can be shown that it produces satisfactory strengths in concrete of the proportions selected for the work.

8. Methods of Sampling and Testing

8.1 Sample and test the aggregates in accordance with the methods cited in Specification C 33 as applicable, except as follows:

8.1.1 *Specific Gravity*—Determine the bulk specific gravity (saturated surface-dry basis) of fine aggregate in accordance with Test Method C 127, except that the weight of the test sample for fine and coarse aggregate shall be approximately the specified weight multiplied by the ratio:

$$\frac{\text{specific gravity of aggregate}/2.65}{\text{specific gravity of aggregate}/2.65}$$

using for specific gravity the higher value given in Table 1.

8.1.2 *Grading*—Method C 136, except that the weight of the test sample for fine and coarse aggregate shall be approximately the specified weight multiplied by the ratio:

$$\frac{\text{specific gravity of aggregate}/2.65}{\text{specific gravity of aggregate}/2.65}$$

using for specific gravity the higher value given in Table 1.

8.1.3 *Fixed Water Content*—When 90 % or more of the weight loss on ignition of the aggregate is due to fixed water content, determine the fixed water content,  $F$ , by the loss-on-ignition test according to 8.1.3.1. When less than 90 % of the loss on ignition is due to fixed water content, determine the fixed water content by the train method (8.1.3.2). In case of dispute, use results obtained by the train method as the basis for acceptance or rejection of the aggregate. Use the train method to demonstrate that 90 % or more of the weight lost during ignition is fixed water. When loss-on-ignition tests are being made on aggregate samples from the same source, also determine the fixed water content of the first sample and each tenth sample thereafter by the train method.

8.1.3.1 For the loss-on-ignition test crush a representative sample of aggregate weighing 20 to 50 g ( $W$ ) to pass the 4.75-mm (No. 4) sieve. Heat the sample to constant weight at a temperature,  $T$ , in a furnace, open to the atmosphere. Cool the heated sample in a desiccator and then weigh it, ( $W_1$ ). Place the sample in the oven again, heat at the ignition temperature,  $t$ , cool in a desiccator, and determine the final weight ( $W_2$ ). Constant weight may be considered to have

Figura 54.b. Continuación de norma ASTM C-637

**C 637**

been attained when further heating at the design temperature  $T$  causes or would cause less than 0.1 % additional weight loss.

8.1.3.2 In the train test, heat approximately 1 g ( $W'$ ) of the finely ground sample to constant weight ( $W'_T$ ) at a temperature of  $T$ . Then heat the sample  $W'_T$  in a stream of argon gas at the ignition temperature  $i$ . Pass water vapor and gaseous material driven from the heated sample through magnesium perchlorate. The gain in weight ( $W'_g$ ) of the magnesium perchlorate is an indication of the fixed water content of the sample at temperature  $T$ . Also determine the dehydrated weight ( $W'_i$ ) of the sample at the ignition temperature  $i$ .

8.1.3.3 Compute the fixed water content at temperature  $T$  by one of the following equations:

Ignition Test:

$$F, \text{ percent} = [(W_T - W'_i)/W_T] \times 100 \quad (1)$$

where:

$W_T$  = sample heated to constant weight, g, and

$W'_i$  = heated and cooled sample, g.

Train Test:

$$F, \text{ percent} = (W'_g/W'_T) \times 100 \quad (2)$$

where:

$W'_g$  = gain in weight of sample, g, and

$W'_T$  = dehydrated weight, g.

8.1.3.4 Determine the percent of nonhydrous volatile material,  $V$ , as follows:

Train Test:

$$V, \text{ percent} = \{[W' - (W'_i + W'_g)]/W'_T\} \times 100 \quad (3)$$

where:

$W'$  = sample weight, g,

$W'_i$  = dehydrated weight of sample, g,

$W'_g$  = gain in weight of sample, g, and

$W'_T$  = sample heated to constant weight, g.

8.1.3.5 Water vapor driven from the sample by heating at temperature  $T$  is considered as part of the nonhydrous volatile material. Absorbed water at 110°C is not considered as part of the nonhydrous volatile material. Determine percent absorption by Test Methods C 127 and C 128.

8.1.3.6 Temperature values shall be as follows:

Hydrous Aggregate	Design Temperature, $T$		Ignition Temperature, $i$	
	°F	°C	°F	°C
Iron ore	230	110	932	500
Serpentine	572	300	1652	900

Heat the sample until it reaches constant weight at the specified temperature, unless otherwise approved. Determine weights after sample has been cooled in a desiccator to room temperature. Duplicate determinations of fixed water content should check to within 0.3 %.

8.1.4 *Water-Soluble Material in Boron Frit*—Place a 5.00-g sample passing a 600- $\mu\text{m}$  (No. 30) sieve and retained on a 300- $\mu\text{m}$  (No. 50) sieve in contact with 100 mL of distilled water at  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  for 16 h. Filter, wash with about 200-mL of hot ( $70 \pm 5^\circ\text{C}$ ) water, and dry at  $125 \pm 10^\circ\text{C}$  for 1 h. Weigh the residue,  $s$ , to the nearest 0.01 g. Calculate the percentage of water soluble material ( $W_3$ ) to the nearest 0.1 % as follows:

$$W_3 = [(5.00 - s)/s] \times 100$$

where:

$s$  = residue, g.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.