



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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA
PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO,
EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

Miriam Noemí Zacarias Solis
Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA
PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO,
EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIRIAM NOEMI ZACARIAS

ASESORADO POR INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE 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 Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lam
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

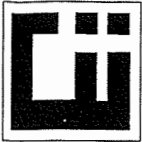
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA
AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO, EN EL
DEPARTAMENTO DE RETALHULEU,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 22 de febrero del 2010.

MIRIAM NOEMI ZACARIAS SOLIS



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



Nº 14907

Guatemala, 19 de Julio de 2 010

Ingeniero José Gabriel Ordoñez Morales
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil
Área de Materiales y Construcciones Civiles
Coordinador

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **"CARACTERIZACION FISICA, MECANICA, QUIMICA Y PETROGRAFICA PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAIDOS DEL RIO OCOSITO, EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU"** elaborado con la estudiante universitaria Miriam Noemí Zacarías Solís, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Zacarías Solís satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Inga. Civil Dilma Yañet Mejicanos Jol

Col. 5947
ASESORA





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



Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Ciudad de Guatemala

Ingeniero Montenegro.

Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación desarrollado por la estudiante universitaria Miriam Noemí Zacarías Solís, titulado **CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO, EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU.**

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos planteados y los requisitos de ley establecidos; y extendida la **APROBACIÓN DEL MISMO**, por parte de la Asesora, Ingeniera Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol; y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por **APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

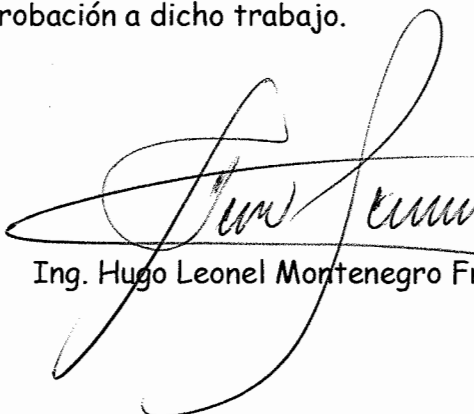
Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles


PROGRAMA DE
INGENIERIA CIVIL
ACREDITADO POR





El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Miriam Noemí Zacarías Solís, titulado *CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO, EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU*, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2010

/bbdeb.



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: **CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EXTRAÍDOS DEL RÍO OCOSITO, EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**, presentado por la estudiante universitaria **Miriam Noemi Zacarías**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2010

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por darme la vida y ser la fuente de inspiración y sabiduría, en cada etapa de mi vida, por estar en los momentos más difíciles, he confiado plenamente en él y quiero dedicar toda mi vida a su servicio, gracias por ayudarme a cumplir un sueño más.

MIS PADRES

Rigoberto Zacarias Chay y Blanca Julia Solis de Zacarias, por apoyarme incondicionalmente, gracias al sacrificio, amor e instrucción que han hecho de mí la persona que soy. Este logro es más de ustedes que mío. Los amo con todo mi corazón.

MIS HERMANOS

Alida Judith, Onelia Anaí, Jennifer Sucely y Gerson Stanley, por apoyarme y formar parte de mi vida.

MIS ABUELOS

Agustin Zacarias (q.e.p.d.), Maria Chay (q.e.p.d.), Atiliano Solis y Rosalía Monzón (q.e.p.d). Por sus sabios consejos, los cuales me han ayudado a salir adelante.

**MIS
SOBRINOS**

Por formar parte de mi vida y ser la fuente de
inspiración cada día.

**MIS TIOS Y
PRIMOS**

Por el cariño especial.

MIS AMIGOS

Por su cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A

Dios Todopoderoso, por permitirme culminar este trabajo y proveerme todo lo necesario para alcanzar un sueño más.

Mi asesora Dilma Yanet Mejicanos Jol, por el apoyo, amistad y tiempo dedicado al asesoramiento del presente trabajo.

Ingeniero Julio Luna, por el apoyo incondicional.

Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser parte importante en mi formación profesional.

Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar este trabajo de graduación.

Mis amigos: por la amistad brindada y por apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Agregados.....	1
1.1.2 Tipos de rocas.....	2
1.1.2.1 Rocas ígneas o magmáticas.....	2
1.1.2.2 Rocas sedimentarias.....	2
1.1.2.3 Rocas metamórficas.....	2
1.1.3 Clasificación de los agregados.....	3
1.1.3.1 Según su origen.....	3
1.1.3.1.1 Agregados naturales.....	3
1.1.3.1.2 Agregados artificiales.....	3
1.1.3.1.3 Mixtos.....	3
1.1.3.2 Según su tamaño.....	4
1.1.3.2.1 Agregados finos.....	4
1.1.3.2.2 Agregados gruesos.....	4
1.1.3.2.3 Graduación.....	4
1.1.3.3 Por su densidad.....	5
1.1.3.3.1 Agregados ligeros.....	5
1.1.3.3.2 Agregados normales.....	5
1.1.3.3.3 Agregados pesados.....	5

1.1.3.4	Por su forma.....	5
1.1.3.4.1	Canto rodado.....	5
1.1.3.4.2	Triturado.....	6
1.1.3.4.3	Mixto.....	6
1.1.3.5	Agregados minerales naturales.....	6
1.1.4	Características del agregado.....	7
1.2	Análisis de las propiedades físicas de los agregados.....	7
1.2.1	Absorción y contenido de humedad.....	7
1.2.1.1	Absorción.....	7
1.2.1.2	Contenido de humedad.....	8
1.2.2	Peso específico.....	9
1.2.3	Peso unitario.....	10
1.2.4	Contenido de materia orgánica.....	11
1.2.4.1	Equipo.....	13
1.2.4.2	Clasificación de la muestra de ensayo.....	13
1.2.4.3	Procedimiento.....	13
1.2.5	Granulometría.....	14
1.2.5.1	Graduación.....	14
1.3	Análisis de las propiedades mecánicas de agregados gruesos	16
1.3.1	Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles...	16
1.3.1.1	Equipo y maquinaria.....	17
1.3.1.2	Muestra de ensayo.....	18
1.3.1.3	Procedimiento.....	18
1.4	Examen petrográfico de agregados.....	19
1.4.1	Importancia y usos de los exámenes petrográficos...	21
1.4.2	Toma de muestras.....	21
1.4.3	Arena, grava natural, roca triturada y roca anaquel...	22
1.4.4	Examen de grava, arena natural, roca triturada y roca expuesta.....	23

1.4.4.1	Clasificación de grava, arena natural, roca triturada	23
1.4.4.2	Condiciones de las muestras.....	24
1.4.5	Registros.....	25
1.4.6	Informes y cálculo.....	25
1.5	Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados.....	26
1.5.1	Aplicación y uso.....	26
1.5.2	Selección y preparación de la muestra.....	26
1.5.3	Procedimiento.....	27
1.5.4	Interpretación de resultados.....	28
1.6	Bondad de los agregados por el sulfato de sodio.....	29
1.7	Diseño de mezclas.....	30
1.7.1	Concreto.....	30
1.7.2	Agregados.....	31
1.7.3	Funciones de la pasta y del agregado.....	31
1.7.3.1	Funciones de la pasta.....	31
1.7.3.2	Funciones del agregado.....	31
1.7.4	Diseño de mezclas de concreto.....	32
1.7.4.1	Descripción del método de proporcionamiento de mezclas del CII.....	32
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	35
2.1	Áreas de influencia de los lugares donde se utilizan los agregados.....	35
2.2	Localización y descripción del banco de material.....	35
2.2.1	Localización.....	35
2.2.2	Descripción geológica del banco.....	39
3.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	41

3.1	Tabulación, análisis e interpretación de resultados.....	42
3.2	Agregado fino.....	42
3.2.1	Granulometría.....	43
3.3	Agregado grueso.....	45
3.4	Abrasión en la máquina de los Ángeles.....	48
3.5	Contenido de materia orgánica.....	48
3.6	Reactividad potencial.....	48
3.7	Análisis petrográfico.....	50
3.7.1	Agregado fino.....	51
3.7.2	Agregado grueso.....	54
3.7.3	Definición de las rocas que componen los agregados	55
3.7.3.1	Vidrio volcánico traslucido.....	55
3.7.3.2	Obsidiana.....	55
3.7.3.3	Piedra pómez.....	55
3.7.3.4	Andesita.....	55
3.7.3.5	Brecha andesita.....	56
3.7.3.6	Dacita.....	56
3.8	Sulfato de sodio.....	56
3.8.1	Agregado fino.....	57
3.8.2	Agregado grueso.....	58
3.9	Ruptura de testigos de roca.....	58
3.10	Diferentes diseños de mezclas.....	60
3.10.1	Diseño teórico de mezcla de 3,000 psi.....	61
3.10.2	Diseño teórico de mezcla de 4,000 psi.....	61
3.10.3	Ensayo de concreto a compresión.....	62
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APENDICES.....	71

INDICE DE ILUSTRACIONES.

FIGURAS

1	División entre agregados inocuos y dañino.....	28
2	Localización del banco de material en el río Ocosito en un mapa topográfico.....	37
3	Localización del banco de material en el río Ocosito en google earth.....	38
4	Localización del río Ocosito en un mapa geológico.....	40
5	Curva granulométrica del agregado fino.....	43
6	Curva granulométrica del agregado grueso.....	46
7	Gráfica de resultados de división entre agregados inocuos y dañinos.....	50
8	Distribución de los diferentes tipos de partículas para agregado fino	53
9	Porcentaje promedio de partículas para agregado fino.....	54
10	Fotografías almacenamiento del banco de material.....	71
11	Informe de la norma ASTM C-33 de agregado fino.....	74
12	Informe de la norma ASTM C-33 de agregado grueso.....	75
13	Informe de la norma ASTM C-131 de agregado grueso.....	76
14	Informe de reactividad potencial de agregado grueso y fino....	77
15	Gráfica de reactividad potencial de agregado grueso y fino.....	78
16	Informe de sulfato de sodio de agregado fino.....	79
17	Informe de sulfato de sodio de agregado grueso.....	80
18	Informe de ruptura de testigos de roca.....	81

19	Informe de diseño de mezcla, resistencia nominal 210 kg/cm ² ..	82
20	Informe de diseño de mezcla, resistencia nominal 281 kg/cm ² ..	83
21	Informe de ensayo a compresión de cilindros de concreto, resistencia nominal 210 kg/cm ²	85
22	Informe de ensayo a compresión de cilindros de concreto, resistencia nominal 281 kg/cm ²	85

TABLAS

I	Cantidad de material en unidades de peso para realizar el cuarteo en el ensayo de contenido de humedad.....	9
II	Capacidad del medidor y volumen según el tamaño del agregado	11
III	Límites de sustancias nocivas en agregados finos utilizados para concreto.....	12
IV	Límites de granulometría para el agregado fino según Norma ASTM C 33-01.....	15
V	Clasificación de la arena por su módulo de finura.....	15
VI	Tipo de abrasión según granulometría.....	18
VII	Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico	22
VIII	Composición del concreto.....	30
IX	Granulometría del agregado fino.....	43
X	Propiedades físicas del agregado fino.....	44
XI	Granulometría agregado grueso.....	46

XII	Características físicas del agregado grueso.....	47
XIII	Resultado de reactividad potencial alcali-sílice.....	49
XIV	Porcentaje de material retenido en cada tamiz.....	51
XV	Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino	52
XVI	Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz.....	52
XVII	Datos del ensayo de desgaste de sulfato de sodio para agregado fino.....	57
XVIII	Datos del ensayo de desgaste de sulfato de sodio para agregado grueso.....	58
XIX	Datos del ensayo de núcleos de roca.....	59
XX	Datos de diseño teórico de mezcla, resistencia nominal de 210 kg/cm ²	61
XXI	Datos de diseño teórico de mezcla, resistencia nominal de 281 kg/cm ²	62
XXII	Resultados de resistencia de cilindros de concreto normal f'c=210 kg/cm ²	63
XXIII	Resultados de resistencia de cilindros de concreto normal f'c=281 kg/cm ²	63
XXIV	Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contengan sulfatos.....	72
XXV	Datos para diseño de mezclas (Calculados para 1 m ³ de concreto fresco).....	73

GLOSARIO

Álcalis	Hidróxido que se forma cuando elementos alcalinos entran en contacto con el agua. En el cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
Alícuota	Es el volumen o cantidad de masa que se va a emplear en una prueba de plataforma o de laboratorio.
Agregado	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico o mortero.
ASTM	Siglas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).
Durabilidad del concreto	Capacidad para resistir las acciones del medio, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso que pueda causar deterioro.

f'c	Resistencia a compresión del concreto.
Fraguado	Condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o concreto, cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario, definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación.
Hormigón	Es una mezcla dosificada de agregados inertes (arena y grava), cemento, agua y aditivos. Los aditivos mejoran o modifican ciertas propiedades del concreto.
Inocuo	Que no es nocivo, que no hace daño.
Intraclastos	Fragmentos redondeados o angulosos procedentes de la erosión de rocas carbonatadas más antiguas y externas al ambiente de sedimentación (fuera de la cuenca).
Pétreos	Son aquellos materiales inorgánicos, naturales o procesados por el hombre que derivan de la roca o poseen una calidad similar a la de ésta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción.

Petrografía	Ciencia que describe a las rocas desde el punto de vista de su textura, mineralogía y composición química.
Porfídica	Textura de roca ígnea en que una matriz engloba grandes cristales.
Porosidad	Está dada por la estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista, o inclusive composición vesicular.
Trabajabilidad	Facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado.

RESUMEN

Los agregados para concreto influyen fuertemente en las propiedades del concreto fresco, endurecido y en las proporciones de mezcla, constituyen entre el 60 y 75% del volumen de concreto, contribuyendo a mejorar la resistencia del concreto, que en general, mientras más densamente pueda encontrarse el agregado, mejor será la economía y la resistencia a la intemperie del concreto. Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice, deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables, libres de productos químicos absorbidos y revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta cemento. Por lo tanto, es necesario el estudio de las propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de los agregados, para concluir si es o no recomendable el empleo para la fabricación de concreto.

Se analizaron muestras de un banco de agregado para concreto del departamento de Retalhuleu, el cual está conformado por agregados finos y gruesos, proveniente del río Ocosito. A dichas muestras se les realizó un análisis completo, según la norma ASTM C-33, que determina la calidad de las características físicas y mecánicas de los agregados para concreto, ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Así también, se efectuaron los ensayos de laboratorio de petrografía ASTM C-295, realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) y un análisis químico ASTM C-289 para determinar la reactividad potencial álcali-sílice efectuado en el área de Química Industrial (CII).

Ambos agregados presentan una granulometría fuera de los límites especificados en la norma, para lo cual se establecen recomendaciones para su corrección, no obstante, sus demás características son satisfactorias, por consiguiente, la utilización de estos agregados pétreos se consideran aceptables y adecuados para su uso en la elaboración de concreto.

OBJETIVOS

- **General**

Caracterizar física, mecánica, química y petrográficamente los agregados finos y gruesos extraídos del Río Ocosito, en el departamento de Retalhuleu.

- **Específicos**

- 1 Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados del río Ocosito en el departamento de Retalhuleu.
- 2 Determinar las características químicas y petrográficas de los materiales, para su buen uso en el diseño de mezclas de concreto, para evitar efectos dañinos por la reactividad potencial de los agregados a largo plazo.
- 3 Obtener resultados de los ensayos y concluir sobre la calidad de los materiales.
- 4 Elaborar diseños de mezcla de concreto para dos distintas resistencias nominales, llevando consigo un control de calidad de concreto fresco y endurecido, monitoreando su resistencia a diferentes edades.

INTRODUCCION

En Guatemala cada día se genera gran demanda de materiales que se utilizan en la elaboración del concreto, por lo que es necesario mantener un control de calidad adecuado de los mismos. Debido a que los agregados pétreos son utilizados por el hombre en la construcción en cientos de metros cúbicos para concreto, estos deben cumplir con ciertas características para garantizar su uso.

La calidad que exige el concreto en la Ingeniería Civil lleva a la necesidad de contar con materiales resistentes y durables, esto se logra analizando las propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo cual propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Las características de los agregados, tales como: la porosidad, la graduación, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes, son importantes en las propiedades del concreto. Por esta razón, resulta fundamental la importancia que el agregado tenga buena resistencia, durabilidad, que su superficie esté libre de impurezas, las cuales pueden debilitar la unión con la pasta de cemento; y que no produzca una reacción química negativa entre el agregado pétreo y el cemento.

Es por ello que los agregados para concreto necesitan una mayor atención por su influencia en la resistencia y durabilidad del concreto endurecido, así también en la importancia para determinar el costo y trabajabilidad de las mezclas del concreto. Debido a esto se necesita efectuar los ensayos respectivos para obtener la información precisa sobre los aspectos físicos, mecánicos, petrográficos y químicos de los materiales.

Para efectos de los ensayos serán utilizadas las siguientes 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).

Para realizar los ensayos correspondientes se analizaron 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.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agregados

Se define como agregados, a los materiales pétreos resultantes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas o de otros materiales inerte y suficientemente duros.

Los agregados son relativamente económicos y no entran en reacciones químicas complejas con el agua; por lo tanto, ha sido normal tratarlos como un relleno inerte en el concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar varias propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo seriamente cuestionada.

Las características del agregado que son significativas para la tecnología del concreto incluyen porosidad, graduación o distribución de tamaños, absorción de humedad, forma y textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.

Estas características se derivan de la composición mineralógica de la roca original (que es afectada por los procesos de formación geológica), las condiciones de exposición a las que la roca ha estado expuesta antes de formar el agregado así como el tipo de operación y de equipo que se ha utilizado para producir el agregado.

1.1.1 Tipos de rocas

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes, durables, libres de químicos y recubrimientos de arcilla o material fino que puedan influenciar en la vida útil de la estructura. Las rocas según el origen y naturaleza de su formación se dividen en tres grupos:

1.1.1.1 Rocas ígneas o magmáticas

Dichas rocas se forman al enfriarse el magma (materia de roca fundida) encima, abajo o cerca de la superficie de la tierra. El grado de cristalinidad y el tamaño del grano de las rocas ígneas varían según la rapidez a la cual fue enfriado el magma al momento de la formación de la roca.

1.1.1.2 Rocas sedimentarias

Son rocas estratificadas que generalmente fueron depositadas por acción del agua, pero que a veces fueron, acumuladas por acción del viento y en ciertas regiones por acción glacial.

1.1.1.3 Rocas metamórficas

Rocas ígneas o sedimentarias que han cambiado su textura original, su estructura cristalina o su composición, como respuesta a condiciones físicas y químicas bajo la superficie de la tierra.

1.1.2 Clasificación de los agregados

1.1.2.1 Según su origen

1.1.2.1.1 Agregados naturales

(Canto rodado): proveniente del cauce de ríos. De forma redondeada. Las gravas y arenas de río son de este tipo. Produce concreto de buena calidad y de mayores ventajas (trabajabilidad o docilidad y economía) razones por las que se debe preferir ante los otros tipos, siempre que satisfaga las especificaciones de calidad, tamaño y bajo costo de explotación. Este material tiene la ventaja de que la composición mineralógica de sus partículas no es uniforme.

1.1.2.1.2 Agregados triturados

(Triturado): proveniente de trituración de piedra de cantera. Los piedrines son de este tipo. Se utilizará cuando sea antieconómico emplear canto rodado. Este material posee aristas angulosas; produce concreto con mejor adherencia pero menos trabajable y su consumo de cemento es mayor.

1.1.2.1.3 Mixtos

(Naturales y triturados): proveniente de trituración de grava y comúnmente mezclado con grava natural. Es de buena calidad. Para su utilización económica, hay que fijar un límite a la parte triturada.

1.1.2.2 Según su tamaño

1.1.2.2.1 Agregados finos

Se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 (4.76 mm de abertura). Están constituidos por granos sueltos y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales, por procesos mecánicos o químicos que arrastrados por corrientes de agua o aire se acumulan en diferentes lugares.

1.1.2.2.2 Agregados gruesos

Formados fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se considera como el material retenido a partir del tamiz No. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada y plana de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33.

1.1.2.2.3 Graduación

Los agregados gruesos deben conformar los requerimientos descritos en la norma ASTM C-33 para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

1.1.2.3 Por su densidad

1.1.2.3.1 Agregados ligeros

Son aquellos cuya densidad está entre 500-1000 kg/m³, se utilizan en concreto de relleno o en la fabricación de bloques para mampostería estructural.

1.1.2.3.2 Agregados normales

Son aquellos cuya densidad está entre 1300-1600 kg/m³, se utilizan en concretos normales o estructurales.

1.1.2.3.3 Agregados pesados

Son aquellos cuya densidad está entre 3000-7000 kg/m³ (poseen en su composición química; barita, magnetita, hematita o una mezcla entre ellas) se utilizan en hormigones pesados, como centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, entre otros.

1.1.2.4 Por su forma

1.1.2.4.1 Canto rodado

Proveniente de cauces de ríos, su forma es redondeada.

1.1.2.4.2 Triturado

Proveniente de piedra de cantera, su forma es angular.

1.1.2.4.3 Canto rodado y triturado (mixto)

Proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural, su forma es redondeada con caras fracturadas.

1.1.2.5 Agregados minerales naturales

Los agregados minerales naturales forman la clase más importante de los agregados para producir concreto de Cemento Portland. Buena parte del agregado grueso total consumido por la industria del concreto consiste en gravas; el resto en su mayoría 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 indispensable para entender no solamente por qué algunos materiales son más utilizados como agregados que otros, sino también para entender las relaciones microestructura-propiedades en el agregado.

1.1.3 Características del agregado

Existe 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 la 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, dureza, módulo de elasticidad y sanidad, que influyen a su vez en propiedades del concreto endurecido que contenga dicho agregado.

1.2 Análisis de las propiedades físicas de los agregados

1.2.1 Absorción y contenido de humedad

1.2.1.1 Absorción ASTM C-127 y ASTM C-128

La absorción de los agregados depende de las características físicas del material como lo es la porosidad e impermeabilidad, factores que intervienen en el peso específico del agregado y, como consecuencia de esto, se ve afectado el rendimiento del concreto para determinado agregado.

La absorción se puede definir como el incremento de la masa de un agregado a través de la penetración del agua dentro de sus poros permeables.

1.2.1.2 Contenido de humedad ASTM C-566

Los agregados están compuestos por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado. Un cambio del 1% en el contenido de humedad, cambia el asentamiento del concreto en 1.5 pulgadas y la resistencia en 300 lb/plg². Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

- Seco al horno, completamente seco y absorbente.
- Seco al aire, seco en su superficie pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.
- Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.
- Saturado y de superficie seca, condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.

Para proporcionar mezclas de concreto, todos los cálculos deben basarse en agregado en condición seco-saturada.

Es imposible que los agregados vengan en condición ideal pero puede llegarse a ella. Para los agregados gruesos la absorción se puede determinar de acuerdo con la norma ASTM C-127 y para los agregados finos la norma ASTM C –128.

Debe tomarse una muestra relativa del material a evaluar, por medio del cuarteo de la misma, considerando el peso necesario de acuerdo con la tabla I.

Tabla I. Cantidad de material en unidades de peso para realizar el cuarteo en el ensayo de contenido de humedad

Tamaño de agregado	Peso de la muestra
Menor de 4.76 μm	200 gramos
De 4.76 a 19.0 μm	500 gramos
De 19.0 a 38.1 μm	1000 gramos
Mayor a 38.1 μm	1000 gramos

1.2.2 Peso específico

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico. En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior.

Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces, peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión.

El peso específico relativo para agregados finos se determina por métodos descritos en la norma ASTM C-128 y para agregado grueso ASTM C-127 y que consiste en medir el desplazamiento del agua producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

El peso específico varía de 2.4 a 2.9 usualmente siendo mejores agregados los de mayor peso específico. Peso específico bajo es un índice de porosidad y baja durabilidad de agregado sujeto a congelamiento a aguas agresivas.

1.2.3 Peso unitario ASTM C-29

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^3 . Hay dos valores para esta relación: el peso volumétrico suelto, y el peso volumétrico apisonado. El primero se usa para convertirse 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 materiales 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 el lugar, haciendo las correcciones del caso, para poder reducir los valores de pesos a volúmenes aparentes en los casos que así se proporcionen ingredientes de concreto.

El valor del peso unitario o peso volumétrico suelto se utiliza:

- a)** Para el diseño de mezclas de concreto.
- b)** Para convertir pesos a volumen y viceversa.

La siguiente tabla muestra la capacidad del medidor y el volumen según el tamaño del agregado.

Tabla II. Capacidad del medidor y volumen según el tamaño del agregado

Tamaño nominal del agregado		Capacidad del medidor		
Plg	mm	P ³	l	m ³
1/2	12.5	1/10	2.8	0.0028
1	25	1/3	2.3	0.093
1 1/2	35.5	1/2	14	0.014
3	75	1	28	0.028
4 1/2	112	2 1/2	70	0.070
6	150	3 1/2	100	0.100

1.2.4 Contenido de materia orgánica ASTM C-40

La materia orgánica que se presenta en los agregados, especialmente en los finos consiste en tejidos animales y vegetales que están principalmente formados por carbono, nitrógeno y agua. Este tipo de materia al encontrarse en grandes cantidades afectan en forma nociva las propiedades del concreto, como la resistencia, durabilidad y buen desarrollo del proceso de fraguado. Por esto es muy importante controlar el posible contenido de materia orgánica de una arena ya que ésta es perjudicial para el concreto.

Este procedimiento sirve para determinar la presencia de compuestos orgánicos dañinos en los agregados finos que son usados para cemento, morteros o concretos.

Las impurezas en el agregado fino bajan la resistencia a compresión del concreto, y afecta la hidratación del cemento. Para este ensayo se tomará una muestra de 450 g de agregado fino aproximadamente 1 lb.

Se realiza esta prueba para obtener el grado de contaminación que tiene el agregado fino; puede determinarse por medio de la prueba colorimétrica de materia orgánica, donde, si ésta muestra un color más oscuro de lo habitual (mayor que el número 3), será aceptado siempre y cuando se compruebe que el color oscuro se debe a la presencia de pequeñas partículas de carbón, lignito u otras partículas discretas similares, ya que la norma permite un máximo en el número 3.

La cantidad de impurezas orgánicas en los agregados finos no deberá exceder los valores de la tabla III.

Tabla III. Límites de sustancias nocivas en agregados finos utilizados para concreto

Sustancia	Porcentaje máximo en peso del total de la muestra
Arcilla y partículas disgregables	3.0
Material más fino que el tamiz 200 (75µm):	
Concreto sujeto a abrasión	3.0A
Cualquier otro concreto	5.0A
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia del concreto es de importancia	0.5
Cualquier otro concreto	1.0

Donde: **A** = En arena manufacturada, si el material es más fino que el tamiz 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7% respectivamente.

Las especificaciones de los límites de sustancias nocivas en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto se designan por el tipo de agregado, la severidad de la abrasión y otros elementos a los que serán expuestos, similares al agregado fino, ver tabla III.

Como el agregado grueso a utilizar en concreto se encuentra sujeto al aumento de humedad, y una prolongada exposición a la atmósfera, no debe contener materiales que puedan reaccionar de forma nociva con los álcalis del cemento, en cantidades que puedan causar una expansión excesiva del mortero de concreto.

1.2.4.1 Equipo

Se usa una probeta plástica, soda cáustica a un 3% de pureza, una probeta de vidrio, y por último un colorímetro.

1.2.4.2 Clasificación de la muestra de ensayo

El ensayo consistirá en una muestra de entre 130 gr mínimo a 150 gr máximo de agregado, en condición seca. La graduación será aquella que represente más adecuadamente el agregado suministrado como muestra.

1.2.4.3 Procedimiento

- a. Se pesan (130 mínimo–150 máximo gr) de material en condición seca en una probeta plástica.
- b. La solución de agua con soda cáustica debe estar al 3% de su pureza.
- c. Se agrega solución a la probeta, hasta que humedezca y se llegue a la marca de 200 ml. con el agregado fino inmerso en la solución.

- d. Se deja reaccionar por 24 horas y al siguiente día se le quita la solución y se coloca en otra probeta de vidrio para observar el color.
- e. Se observa el color y se compara con la ayuda de un calorímetro. Su interpretación debe ser con un máximo del #3.

1.2.5 Granulometría ASTM C-136

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 granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

1.2.5.1 Graduación

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la tabla IV, según norma ASTM C 33.

Tabla IV. Límites de granulometría para el agregado fino según Norma ASTM C 33-01

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.50 mm)	100 %
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600 µm)	25 a 60 %
No. 50 (300 µm)	10 a 30 %
No. 100 (150 µm)	2 a 10 %

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03 Pág. 10

El agregado fino no deberá tener más del 45% retenido entre 2 tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior.

Tabla V. Clasificación de la arena por su módulo de finura

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.90 - 3.20 Gramos
Media	2.20 - 2.90 Gramos
Fina	1.50 - 2.20 Gramos
Muy fina	1.50 Gramos

El módulo de finura debe ubicarse en el rango de 2.2 a 3.2. Si cambia más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado, a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

La granulometría en el agregado grueso debe conformar los requerimientos descritos en la norma ASTM C-33. El tamaño del agregado se encuentra en función a las necesidades específicas para el diseño del concreto.

Para llevar un control de la calidad, el productor debe desarrollar una medida de granulometría de una fuente en particular, así también, los medios de producción y controlar que en promedio la granulometría se encuentre dentro de los límites de tolerancia razonables.

1.3 Análisis de las propiedades mecánicas de agregados gruesos

1.3.1 Ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles ASTM C-131

La resistencia al desgaste y al rayado de un agregado a menudo se emplea como un índice general de su calidad. Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de los Ángeles, de acuerdo con la norma ASTM C-131, consiste, básicamente, en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo especificado en la norma anterior, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

Este método cubre el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste y a ser rayados en la máquina de los Ángeles.

Se utiliza material de diferentes graduaciones, para clasificar el tipo de desgaste, el cual se lleva a cabo por fricción entre las esferas de acero por un período de tiempo específico y el material debe estar en condición seca – seca; después se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso desgastado no deberá mostrar una pérdida según los medios de extracción y uso que está especificado para las diferentes estructuras. Para carretera menor del 50% en peso o desgaste y para concreto 40%.

1.3.1.1 Equipo y maquinaria

Se usa la máquina de los Ángeles que satisfaga las características descritas por la norma ASTM C-131. La máquina consistirá en un cilindro hueco cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 28 pulgadas y el largo interior de 20 pulgadas.

El cilindro será montado en ejes, acoplados a los extremos del cilindro pero sin atravesarlo y será montado de manera que pueda girar estando su eje en posición horizontal.

El cilindro será provisto de una abertura para poder introducir la muestra de ensayo. La abertura cerrará de modo que sea a prueba de polvo, lo que se logra con una tapadera que se amolde al cilindro y se atornille al mismo. A lo largo de una línea de la superficie interior del cilindro se colocará una placa o paleta de acero removible, proyectada radialmente hacia el centro del cilindro de 3 ½ pulgadas y extendida a todo lo largo del mismo.

Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46.8 mm y cada esfera tendrá un peso aproximado de 390 a 445 gramos.

1.3.1.2 Muestra de ensayo

La muestra de ensayo consistirá en agregado que ha sido secado al horno a temperatura 105 °C a 110 °C, hasta obtener peso constante. Si la cantidad de material requerido en cada tamiz no cumple con la granulometría que especifica la tabla en la norma, pero si contiene partículas mayores, es posible triturarlas para completar los pesos.

1.3.1.3 Procedimiento

- a. Se encuentra la granulometría con una cantidad representativa para obtener los porcentajes y cantidades retenidas, para identificar el tipo de abrasión.
- b. De acuerdo con la cantidad de material se clasifica el tipo de desgaste, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla VI. Tipo de abrasión según granulometría

TIPO	TAMICES	PESO RETENIDO (gr)	No. DE ESFERAS	REV	TIEMPO (min)
A	1", 3/4", 1/2", 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	10	500	17
D	No.8	5000	6	500	17

- c. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra de ensayo, se expresará en forma de porcentaje del peso inicial de la muestra de ensayo. Este valor será expresado como porcentaje de desgaste.

1.4 Examen petrográfico de agregados, según Norma ASTM C-295

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 firme 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.

Los procedimientos específicos empleados en el examen petrográfico de cualquier muestra, dependerán en gran parte del propósito del examen y la naturaleza de la muestra. En la mayoría de los casos el examen requerirá el uso de microscopía óptica.

La identificación de los minerales contenidos en una muestra es usualmente un paso necesario para poder determinar lo que se puede esperar acerca de la conducta del material en el uso que se le va a dar, pero la identificación no es el fin en sí mismo, ya que el valor de cualquier examen petrográfico dependerá en gran parte de la representatividad de las muestras analizadas.

1.4.1 Importancia y usos de los exámenes petrográficos

Los exámenes petrográficos son hechos con los siguientes propósitos.

- Determinar las características físicas y químicas del material que será observado y determinar el comportamiento del material para el uso que será destinado.
- Describir y clasificar los componentes que tiene la muestra.
- Para comparar muestras de agregados de nuevos bancos con las muestras de agregados de uno o más bancos y que los datos estén disponibles en archivos.

A continuación, se presentan los lineamientos para la realización de un análisis petrográfico de los agregados para concreto, basado en la norma ASTM C-295.

1.4.2 Toma de muestras

La toma de muestras debe realizarse bajo la supervisión de un geólogo que tenga el conocimiento con los requisitos necesarios, debiendo considerarse la localización exacta de donde fue tomada la muestra la geología del sitio y deben recolectarse otros datos pertinentes con la muestra.

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa no debe tomarse por menos de 45 kilogramos (100 libras) o bien 300 piezas o segmentos de cualquier tamaño, de cualquier material a examinar. Debe efectuarse una selección de los apilamientos existentes y de esta forma tomar las muestras más representativas y con las características del agregado más grande.

Los depósitos de arenas y gravas no desarrollados deberán ser muestreados por medio de pruebas en trincheras excavadas a mano, para anticipar la futura producción económica. Las muestras consistirán en no menos de las cantidades de material indicadas en la tabla VII, seleccionando, tanto como sea posible, la representatividad de los depósitos.

Tabla VII. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico

Abertura del tamiz	Cantidad		
	kg	lb	Piezas
Mayores de 150 mm (6")	---	---	*
75 a 150 mm (3" a 6")	---	---	---
37.5 a 75 mm (1 ½" a 3")	180	400	30
19 a 37.5 mm (¾" a ½")	90	200	---
4.75 a 19 mm (No.4 a ¾")	45	100	---
Menores de 4.75 mm (No. 4)**	23	50	---

* No menos de una pieza de cada tipo aparente de roca

** Agregado fino

1.4.3 Arena, grava natural, roca triturada y roca anaquel

Las muestras de grava y arena natural para el examen petrográfico deben encontrarse secas, para proporcionar muestras de acuerdo con el tamaño del tamiz.

Cada fragmento del material que es retenido por el tamiz debe ser examinado de forma separada, iniciando por el material retenido en el tamiz de la medida más grande que se tenga disponible, así se hace más fácil el reconocimiento de rocas de gran tamaño.

El número de partículas a tomar de cada uno de los tamices para ser examinado será determinado por la precisión que se tenga para obtener los resultados de la muestra menos abundante.

Los valores que sugiere este método son mínimos, ellos están basados en la experiencia y en consideraciones estadísticas.

1.4.4 Examen de grava, arena natural, roca triturada y roca expuesta o anaquel

El procedimiento para arena y grava natural es similar, haciendo la diferencia solamente el tamaño de las partículas. Este examen es igual para roca triturada, haciendo énfasis en la calidad del agregado de fractura. Para la roca anaquel o expuesta el procedimiento del estudio en forma individual, es deseable que se examine la muestra completa, ya que se determina de esta forma la variedad relativa de las partículas presentes en la muestra. El procedimiento del análisis de la roca expuesta debe ser similar al de las muestras anteriores.

1.4.4.1 Clasificación de grava, arena natural, roca triturada y roca anaquel

Los fragmentos de roca deben ser clasificados por medio del método visual, esto puede realizarse si existen uno o más grupos de fragmentos que sean fácilmente identificables y separados de forma manual, ya sea en una superficie natural, fracturada, perforada o un examen de acidez. Puede que no sea necesario realizar una evaluación demasiado extensa.

En las rocas de grano fino es necesario realizar el examen por medio de microscopio estereoscópico para verificar la existencia de sustancias dañinas para el concreto. La cantidad en una muestra será determinada por la cantidad que se necesite de este material para un trabajo determinado.

1.4.4.2 Condiciones de las muestras

Deben examinarse las muestras por grupos separados según el tipo de grano, es necesario notar si existe un grupo de partículas de forma reconocible en condición agrupada, ya que normalmente se encuentran partículas con diverso grado de desgaste en diferentes grupos, que deben ser clasificadas en categorías basadas en su condición y comportamiento con el concreto.

Las categorías por las cuales se clasifican son:

- Erosionado y denso.
- Moderadamente erosionado

O bien pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Denso
- Poroso (poroso deleznable)

Normalmente no es factible reconocer más de tres condiciones en función del tipo de roca, ya que normalmente el reconocimiento de una o dos condiciones pueden ser suficientes. Cuando existe un componente importante en grandes cantidades, a veces puede requerir una separación en cuatro grupos según su condición.

1.4.5 Registros

Cuando se haya concluido con el examen o bien se haya completado, las notas deben contener la información suficiente para realizar las tablas correspondientes y su descripción. Las tablas deben mostrar la condición y composición de las muestras separadas por tamices, el peso de la muestra y granulometría de la muestra en el momento de haber sido recibida.

1.4.6 Informes y cálculos

El informe del examen petrográfico debe exponer de forma resumida los datos esenciales para identificar la muestra, indicando la fuente, propósito, uso e incluyendo una descripción de las propiedades de los elementos que componen la muestra, según el examen realizado. El informe debe incluir los procedimientos empleados en la prueba y una descripción de la naturaleza y los componentes de la muestra, acompañado por tablas y fotografías.

Deben darse a conocer los hallazgos y las posibles conclusiones, en términos que puedan ser comprensibles para las personas que tomen la decisión de la conveniencia del material para ser usado como agregado en el concreto.

Cuando en una muestra no se tiene certeza de los elementos que podrían causar daño al concreto, debe hacerse saber el tipo de características de forma cualitativa y su posible magnitud de forma cuantitativa. Debe hacerse la mención de todos los elementos que se consideren desfavorables para el concreto. También debe mencionarse si la muestra fue tomada en condiciones desfavorables.

1.5 Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados, ASTM C-289

1.5.1 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 Portland, 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.

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.

1.5.2 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 o banco, 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 μm . Descartar el material que pase por el tamiz de 150 μm . Reducir el material retenido en el

tamiz de 300 μm 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 μm . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasa el tamiz No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

1.5.3 Procedimiento

Pesar tres partes representativas de 25.00 ± 0.05 g. de la muestra seca comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH 1.000 N. En un cuarto recipiente, utilizando una pipeta agregar 25 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 ± 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 ± 2 minutos hasta menos de 30 °C. Inmediatamente después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.

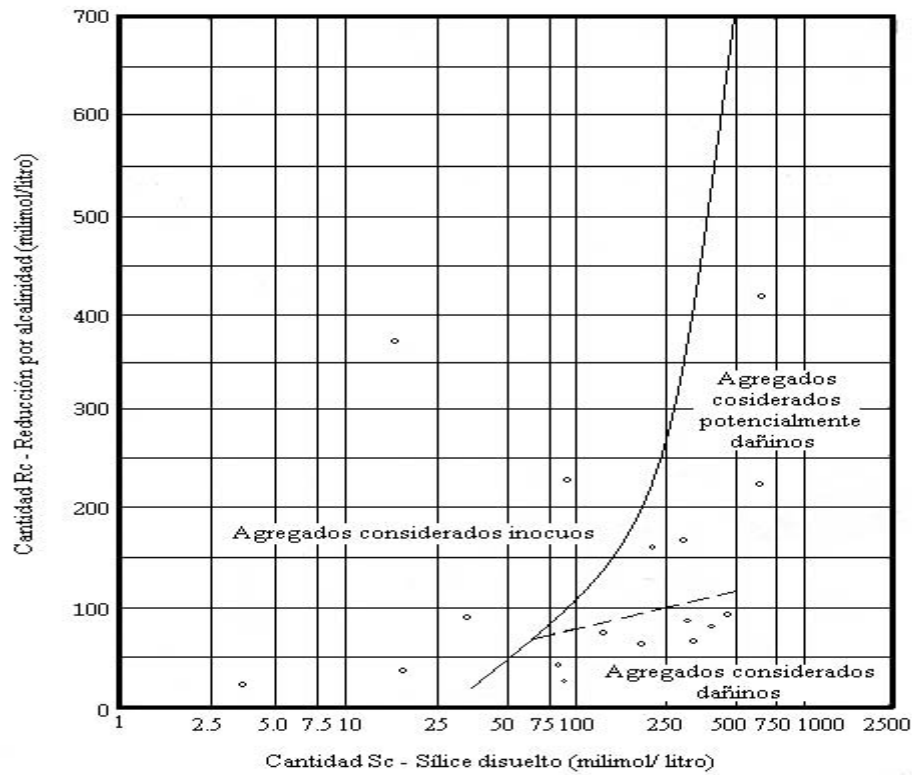
Después de completar la filtración, se agita el filtrado para asegurar homogeneidad y luego se toma una alícuota de 10 cm^3 del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm^3 en un frasco volumétrico. Se conserva esta solución diluida para la determinación de la sílice disuelta y la reducción en alcalinidad,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

1.5.4 Interpretación de los resultados

Han sido publicados estudios que correlacionan los 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.

A continuación, se muestra la división entre agregados inocuos y dañinos.

Figura 1. División entre agregados inocuos y dañinos



1.6 Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio ASTM C-88

Consiste que a la muestra, en este caso los agregados, se le someterá a un agente químico (sulfato de sodio), durante cinco ciclos finalmente se pesa el material final, previamente lavado y secado en el horno y se calcula el porcentaje de pérdida de masa para ver si este cumple con las especificaciones de la norma, pues la presión interna que se establece con el crecimiento de los cristales de sal en los poros del agregado se asemeja por aquella producida por el congelamiento del agua.

La solución se prepara con 240 gramos de sulfato de sodio en polvo por cada litro de solución, por lo general para una muestra se usa un galón (aproximadamente 4 litros), para realizar cinco ciclos.

Una de las características del concreto que va a quedar expuesto a la intemperie, a la resistencia a la congelación y fusión del agregado, está relacionada a su porosidad, absorción y estructura porosa. Si una partícula de agregado absorbe demasiada agua, el espacio en los poros no es suficiente para dar cabida a la dilatación del agua que ocurre durante la congelación. La prueba del sulfato de sodio se realiza para demostrar la resistencia al intemperismo. Es necesario que el material tenga una densidad adecuada y que no sea porosa para evitar que las presiones del agua dañen la estructura del material.

El concreto que va a estar expuesto a soluciones o suelos que contengan sulfatos debe cumplir con los requisitos de la tabla XXIV (ver en anexos) o debe estar hecho con un cemento que proporcione resistencia a los sulfatos y que

tenga una relación agua-material cementante máxima y f_c mínimo según la tabla XXIV (anexos).

1.7 Diseño de mezclas

1.7.1 Concreto

El concreto u hormigón es una mezcla dosificada de agregados inertes, cemento y agua. El concreto de cemento portland, está formado por una parte activa (pegamento) pasta agua cemento y una parte inerte (agregados). En las mezclas, las proporciones de estos componentes están controlados por varios requisitos.

- a. La masa de concreto fresco debe ser trabajable.
- b. El concreto endurecido debe poseer la resistencia y durabilidad deseada.
- c. El costo del producto resultante debe ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

Tabla VIII. Composición del concreto

Poros	Sólidos		
Aire y agua libre	Cemento Cemento hidratado agua	Agregados	
		Fino	Grueso
Variable. Depende de grado de reacción entre cemento, agua y grado de exposición.	División arbitraria entre agregado grueso y fino (4.76 mm 3/16")		
Pasta cemento	Agregado inerte.		

1.7.2 Agregados

El agregado ocupa las $\frac{3}{4}$ partes del volumen ocupado por el concreto. El resto es ocupado con agua, cemento y vacíos, después de colocado el concreto, siempre existen pequeños poros de aire en la masa. La porción sólida queda compuesta por agregados, algo de cemento original y nuevo producto formado por la combinación de cemento y agua. Después de un tiempo determinado, la cantidad de agua libre depende del grado de combinación entre cemento y agua, y de la pérdida de agua por evaporación en la masa.

1.7.3 Funciones de la pasta y del agregado

1.7.3.1 Funciones de la pasta

El pegamento o sea la pasta agua-cemento es el componente activo y llena dos funciones.

1. Llena los vacios entre las partículas del agregado dando lubricación a la masa fresca e impermeable en el concreto endurecido.
2. Da resistencia al concreto endurecido.

1.7.3.2 Funciones del agregado

El agregado tiene tres funciones principales.

1. Provee un llenador relativamente barato para el material cementante.
2. Provee una masa de partículas de calidad adecuada para resistir la acción de cargas, desgaste, percolación de humedad y acción climática.

3. Reduce los cambios volumétricos que resultan del proceso de endurecimiento y cambios de humedad de la pasta agua-cemento.

1.7.4 Diseño de mezclas de concreto

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que se deben emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado.

1.7.4.1 Descripción del método de proporcionamiento de mezclas de concreto según el código ACI

La resistencia y durabilidad (calidad) del concreto está principalmente relacionada con la relación agua-cemento de la pasta y con la granulometría y tipo de partículas del agregado. Pero además del requisito de trabajabilidad de un concreto, afecta la relación agua-cemento y la proporción relativa de agregados grueso y fino a usarse.

Una vez determinada la resistencia y trabajabilidad requeridas los datos de relación agua-cemento (grado de concentración) y la cantidad aproximada de agua para alcanzar la trabajabilidad requerida, se toman de la tabla XXV (ver tabla en apéndices), dependiendo del tipo y tamaño del agregado.

Luego se calcula el cemento, los agregados (el % de arena se toma de la tabla XXV de acuerdo con su módulo de finura y tamaño máximo del agregado). Se calcula entonces por volumen absoluto o volumen de sólidos las cantidades de material necesarios. Se pasan estos volúmenes a pesos (para lo cual debe conocerse el peso específico de los materiales) y ya se tiene diseñada la mezcla.

El paso a seguir es hacer masadas de prueba para ver si la mezcla tiene la docilidad o trabajabilidad y resistencia apropiadas, realizando después de acuerdo con los resultados obtenidos, las correcciones que resulten necesarias, bajo condiciones de laboratorio.

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Áreas de influencia de los lugares donde se utilizan los agregados

Con la explotación del banco de material ubicado en el cauce del río Ocosito, en el Parcelamiento Caballo Blanco Retalhuleu, se benefician los poblados cercanos a dicha ubicación, en la actualidad el agregado producido es vendido a constructoras de las comunidades cercanas que se dedican al campo de construcciones civiles y a pequeñas empresas que comercializan el material en estas comunidades, tomando en cuenta que, la cabecera departamental dista 33 kilómetros desde la explotación del banco de material y si el material es traído desde la cabecera departamental sus costos se elevarían por pago de transporte. En los poblados cercanos, el material es comúnmente utilizado para elaboración de casas de mampostería, el cual genera gran demanda, además es utilizado para elaboración de infraestructura municipal, como construcciones de carreteras, puentes y escuelas.

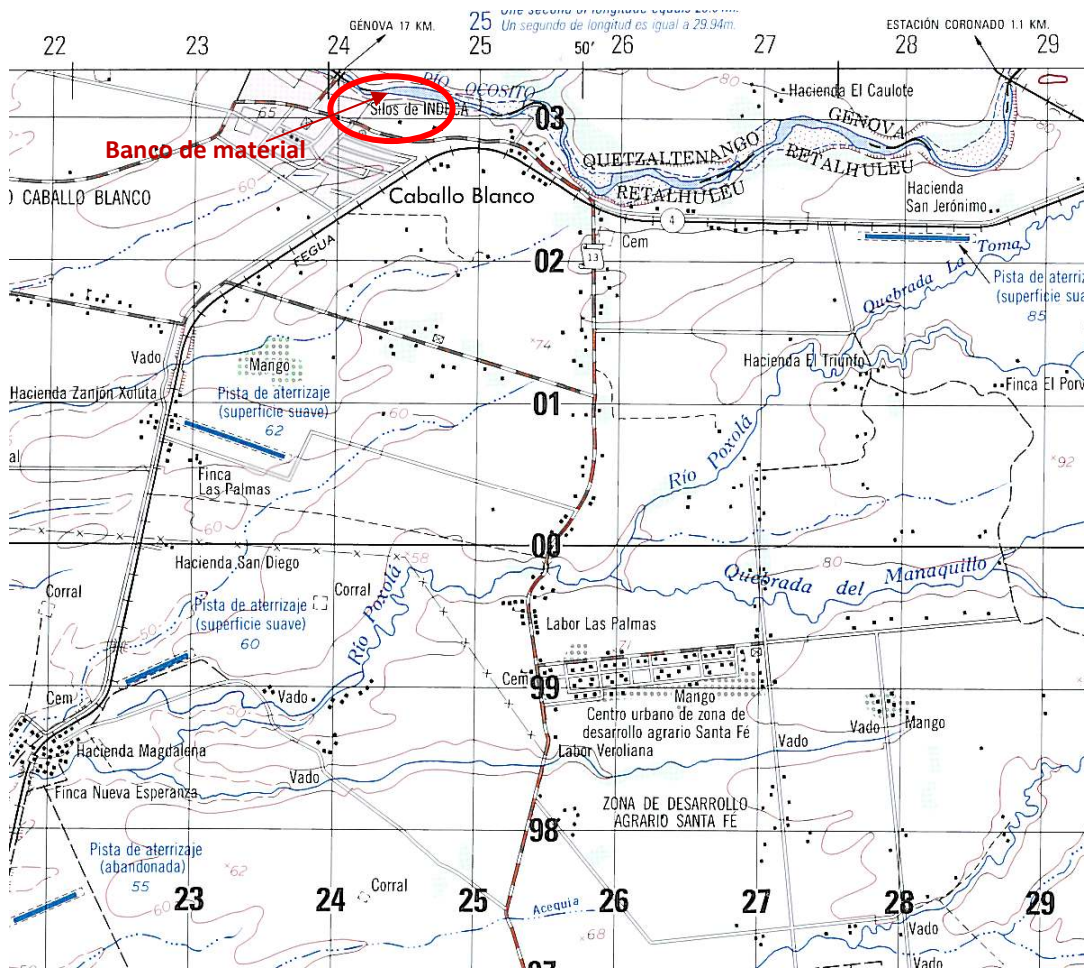
2.2 Localización y descripción del banco de material

2.2.1 Localización

El banco de material bajo estudio se encuentra ubicado en el departamento de Retalhuleu, en el sur de la República de Guatemala, específicamente en el Parcelamiento Caballo Blanco, en el cauce del río Ocosito, el cual está a 65 metros sobre el nivel del mar, con latitud de 14°29'35" y longitud de 91°50'10".

El banco de material se encuentra a 216 kilómetros de la ciudad capital y a 33 kilómetros de la cabecera departamental de Retalhuleu. Las rutas que conducen al lugar son: la carretera CA-9 rumbo al sur, al llegar a Escuintla, cruzar a mano derecha por la carretera CA-2, pasando por Siquinalá y Mazatenango hasta llegar a la cabecera departamental de Retalhuleu. Una vez allí tomar la ruta nacional 9-S, hasta llegar a la aldea Biloma, en el kilómetro 203, posteriormente tomar la ruta nacional departamental 13 la cual conduce hasta el Parcelamiento Caballo Blanco, el Banco de material se encuentra a un costado del río Ocosito.

Figura 2. Localización del banco de material en el río Ocosito en un mapa topográfico



Fuente. Mapa del Instituto Geográfico Nacional.

Figura 3. Localización del banco de material en el río Ocosito en google earth



2.2.2 Descripción geológica del banco

Hace aproximadamente 80 millones de años, al final del período Cretácico, algunas áreas terrestres de América Central, empezaron a emerger, básicamente por actividad volcánica y el choque de las placas tectónicas, constituyendo el núcleo de América central, incluyendo el centro y parte montañosa del Sur de Guatemala.

El relieve Centroamericano se fue incrementando en el curso de varios millones de años por emanaciones de material volcánico de las fisuras entre las placas tectónicas. Ello explica el origen volcánico de la mayoría de los suelos de la plataforma central de Guatemala.

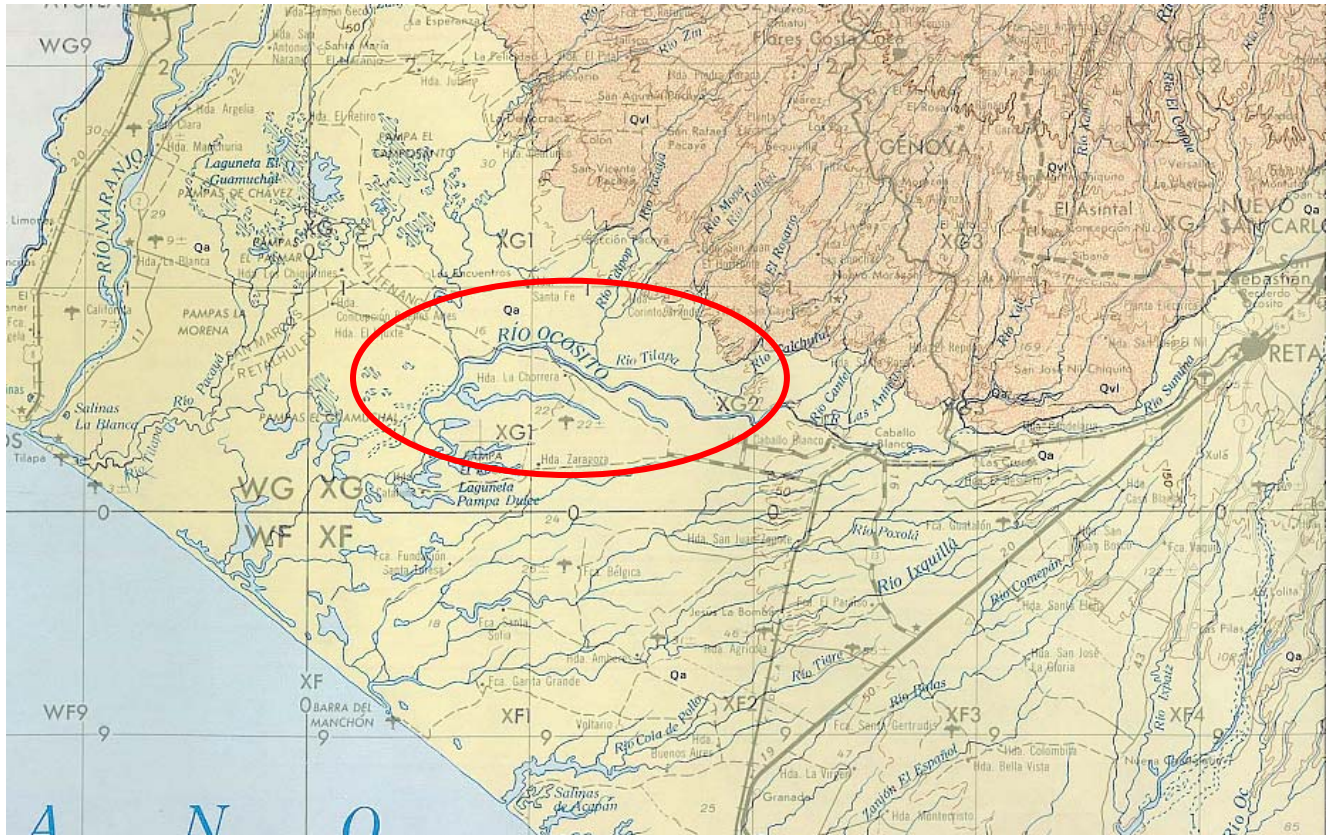
En la actualidad Guatemala se encuentra ubicada sobre una porción terrestre geológicamente muy activa y una muestra de ello es su actual actividad volcánica. El territorio de Guatemala está situado sobre tres placas tectónicas, o partes de ellas, la Placa de América del Norte, la Placa del Caribe y la Placa de Cocos, las dos primeras son Continentales y la tercera es Oceánica. La placa de cocos colisiona con la placa de América del Norte, desplazándose por debajo de ésta, provocando el fenómeno de “Subducción”, lo cual provoca actividad volcánica en la planicie costera del Océano Pacífico.

En la planicie costera del país se encuentra ubicado el banco de material bajo estudio, específicamente en el cauce del río Ocosito, en el Parcelamiento Caballo Blanco Retalhuleu. La cuenca del río Ocosito nace en las faldas del volcán siete orejas, con un curso de norte-sur, sur-oeste, arrastrando gran cantidad de piedras y arena, las cuales han sido modificadas por la topografía de la región. El volcán siete orejas está situado en el departamento de Quetzaltenango, hacia su lado suroeste, se puede observar desde la carretera

que conduce de San Marcos hacia San Juan Ostuncalco, da la impresión de una mujer acostada, tiene siete picos u orejas, que es como se le conoce, la parte más alta tienen una altura de 3,370 metros. El banco de material por estar situado en la planicie costera de Guatemala no es afectado por las fallas que atraviesan el país.

Las rocas que generalmente se encontraron al analizar el material son de origen volcánico (ígneas), estas se forman cuando el magma o roca fundida se enfría rápidamente sobre la superficie, tras una erupción volcánica; por enfriarse sobre la superficie se les clasifica como rocas ígneas extrusivas.

Figura 4. Localización del río Ocosito en un mapa geológico



Fuente. Mapa del Instituto Geográfico Nacional.

3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras de los ensayos fueron trasladadas del departamento de Retalhuleu a los laboratorios respectivos.

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 para conocer sus distintas propiedades. Para analizar las propiedades físicas se realizaron las siguientes pruebas: granulometría, peso específico, peso unitario apisonado, peso unitario suelto, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción según la norma ASTM C 33, además del análisis de contenido de materia orgánica ASTM C 40. También, se analizaron las propiedades mecánicas del agregado grueso utilizando la prueba de desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles, especificada por la norma ASTM C 131.

Para conocer las propiedades químicas de estos agregados, se aplicó el ensayo de reactividad potencial según la norma ASTM C 289 en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, además se realizó el examen petrográfico según la norma ASTM C 295 dicho ensayo se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas de la Facultad de Ingeniería.

Los resultados de las características y propiedades físicas, mecánicas, químicas y petrográficas de los agregados para concreto, se describen en este capítulo tabulando y analizando cada uno de los resultados. Las copias de los informes de los ensayos realizados se incluyen en los anexos.

3.1 Tabulación, análisis e interpretación de los resultados

En esta parte se muestran los resultados de los ensayos, pruebas de laboratorio y análisis respectivo en base a la teoría presentada.

El procedimiento de cada una de las normas aplicadas, fueron descritas en el capítulo anterior, tanto para agregados finos, como para agregados gruesos.

3.2 Agregado fino

La extracción del agregado fino se realizó a un costado del río Ocosito, se recogió la muestra, desechando la capa superficial de agregado, para obtener la muestra de una capa más profunda, se observaron las condiciones en que se encontraba el río y se pudo apreciar que este estaba sucio, debido a que la muestra se recogió en las primeras lluvias del invierno, además se pudo observar que tenía cierta contaminación de jabón, y esto se debió a que en la parte de arriba del río se encontraban algunas personas utilizando el agua para lavar ropa.

Se realizaron las pruebas básicas de agregados según la muestra de agregado fino en estudio.

En esta parte se analizan los resultados de los nueve ensayos de propiedades físicas del agregado fino que se realizaron. Para este propósito se presentan los resultados de la siguiente forma: en la tabla IX se muestran los porcentajes en peso de partículas que pasan cada tamiz según la norma ASTM y en la figura 1 la curva granulométrica, luego en la tabla X se muestran las características físicas.

3.2.1 Granulometría

Tabla IX. Granulometría del agregado fino

Tamiz No.	% que pasa
3/8" (9.40 mm)	100
No. 4 (4.76 mm)	100
No. 8 (2.38 mm)	100
No. 16 (1.19 mm)	99.16
No. 30 (600 μm)	85.78
No. 50 (300 μm)	33.67
No. 100 (150 μm)	4.85

Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino

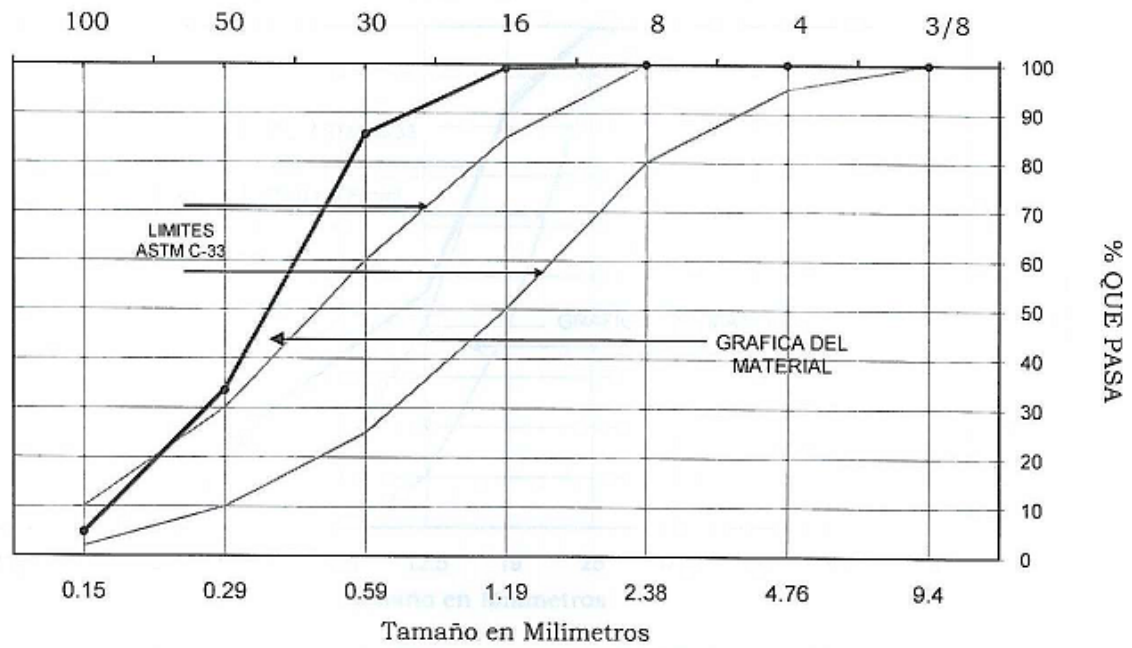


Tabla X. Propiedades físicas del agregado fino

Peso Específico	2.68
Peso Unitario (kg/m ³)	1457.09
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1339.78
Porcentaje de Vacíos	45.63
Porcentaje de absorción	1.73
Contenido de Materia Orgánica	3
% Retenido en tamiz 6.35	0.00
% que pasa tamiz 200	2.34
Módulo de Finura	1.77

Las normas ASTM especifican los límites para cada uno de los análisis realizados, y los resultados aparecen en las tablas IX y X se puede decir que:

- La norma ASTM C 117 para agregado fino especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz 200 no puede ser mayor al 7%. En el análisis, el porcentaje que se paso se encuentra dentro de las especificaciones de la norma pues es equivalente al 2.34%.
- El módulo de finura que es especificado por la norma ASTM C 136 indica que debe encontrarse entre 2.2 y 3.2, siendo de 1.77 el resultado del análisis para el agregado fino, concluyendo que dicha especificación no cumple con lo indicado en la norma.
- En la gráfica de granulometría de agregado fino se observa que no cumplen con la especificación según la norma ASTM C 136, ya que la grafica de los materiales se encuentran fuera de los límites según la ASTM C-33.
- El límite del peso específico según la norma ASTM C 128 para agregado fino natural se encuentra entre 2.4 y 2.9, la muestra da un

resultado de 2.68 por lo que se encuentra dentro del límite establecido.

- El porcentaje de vacíos basado en la norma ASTM C 29 detalla que para el agregado fino el porcentaje se encuentra aproximadamente entre 40% y 50%, indicándonos que el agregado analizado se encuentra dentro del porcentaje establecido en la especificación de la norma.
- El peso volumétrico aproximado del agregado comúnmente usado con el concreto de peso normal varía de 1200 Kg/m³ a 1750 Kg/m³, mientras que el análisis de la muestra en estudio indica un peso unitario de 1457.09 kg/m³ ubicándose dentro del rango mencionado.
- El porcentaje de absorción es de 1.73, lo cual indica que el agregado no absorbe demasiada agua.

3.3 Agregado grueso

La extracción de la muestra del agregado grueso se realizó tomando una cantidad del material triturado apilado, se observaron las condiciones en que este se encontraba almacenado y se pudo apreciar que tenía desechos de árboles, como hojas y restos de ramas, por lo demás se encontraba en buenas condiciones.

Se realizaron las pruebas básicas de agregados según la especificación ASTM C 33 a la muestra de agregado grueso. Para ver los informes de los ensayos respectivos, buscar los anexos.

Para determinar las propiedades físicas del agregado grueso se realizaron seis pruebas de laboratorio, los resultados de estas se muestran en la tabla XI y

tabla XII, además, en la figura 5 se observa la curva granulométrica con los límites que establece la norma ASTM C 33 indicados.

Tabla XI. Granulometría agregado grueso

Tamiz No.	% que pasa
1 1/2"	100
1"	99.44
3/4"	83.13
1/2"	46.71
3/8"	34.25
No.4	21.5
No. 8	0.00

Figura 6. Curva Granulométrica del agregado grueso

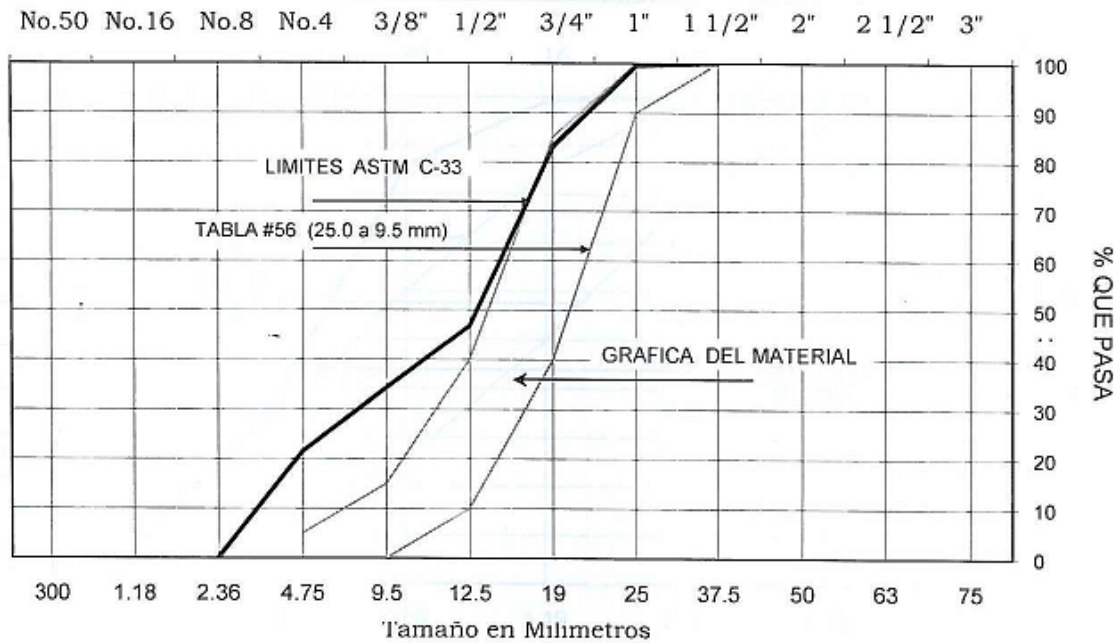


Tabla XII. Características físicas del agregado grueso

Peso Específico	2.74
Peso Unitario (kg/m ³)	1737.29
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1609.10
Porcentaje de Vacíos	36.68
Porcentaje de Absorción	1.65
% tamiz 200	0.86

Según los límites que establece la especificación de la norma ASTM C 33 para el agregado grueso, se puede observar el siguiente resultado:

- En la figura 5 la granulometría indica que el agregado grueso no cumple con la especificación, ya que la gráfica no está dentro del rango permisible.
- El peso específico para agregados gruesos según la norma ASTM C 127, indica que los agregados naturales se encuentran entre 2.4 y 2.9, para la muestra analizada se obtuvieron resultados de 2.74 encontrándose así dentro del rango permisible.
- La norma ASTM C 29 que se refiere al porcentaje de vacíos especifica que el agregado grueso debe encontrarse aproximadamente entre un 30% y un 45%, el informe de la muestra indica un porcentaje de 36.68% colocándose en un porcentaje aceptable.
- El peso volumétrico aproximado del agregado comúnmente usado con el concreto de peso normal varía de 1200 kg/m³ a 1750 kg/m³, en el análisis de la muestra en estudio indica un peso unitario de 1737.29 kg/m³. El agregado se puede utilizar para elaboración de concreto normal.
- El porcentaje de absorción que se obtuvo en el análisis es de 1.65, lo cual indica que el agregado es poco absorbente.

3.4 Abrasión en la máquina de los Ángeles (ASTM C 131)

Se tamizó una cantidad representativa del agregado y según los pesos de 2,500 gramos retenidos en los tamices $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " se clasificó el tipo de desgaste como "B". Al realizar el ensayo en la máquina de los Ángeles se obtuvo un desgaste del 21.02%, la norma establece que debe encontrarse entre 30% y 40% para concreto y para carreteras hasta un 50%, por lo tanto es un agregado que cumple lo especificado por la norma, pues cuenta con dureza y tenacidad.

Este análisis se le aplicó únicamente al agregado grueso, debido a que la norma especifica que para el análisis del agregado fino se requiere que la muestra contenga partículas retenidas en el tamiz #8, para aplicar el ensayo en la Máquina de los Ángeles.

3.5 Contenido de materia orgánica (ASTM C 40)

Con relación al resultado de análisis de contenido de materia orgánica, el resultado dio el color número 3, la norma específica que el material no debe exceder dicho número. El contenido de materia orgánica es aceptable.

3.6. Reactividad potencial (ASTM C 289)

Se realizó el ensayo de reactividad potencial a dos muestras, agregado grueso y agregado fino, determinando la capacidad reactiva potencial de incremento de volumen a mediano y largo plazo de sus componentes silícicos con los álcalis (Na_2O y K_2O) del cemento Portland.

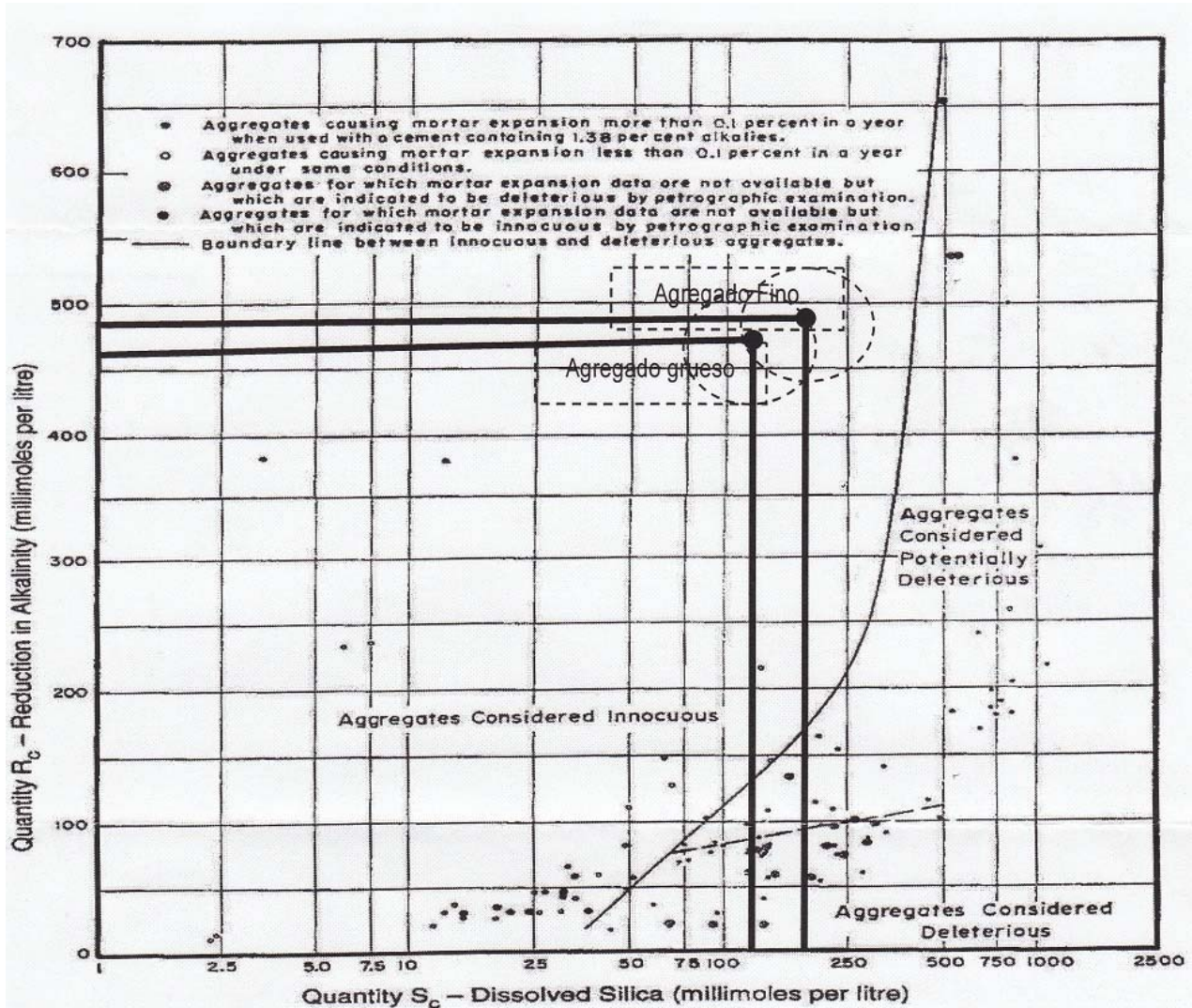
Tabla XIII. Resultado de reactividad potencial Alkali-Sílice

Muestra	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	Resultado
Agregado fino	495.36 ± 34.20	198.32 ± 14.55	Inocuo
Agregado grueso	470.40 ± 2.72	151.21 ± 11.24	Inocuo

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

En la gráfica de la figura 6 puede apreciarse que la intersección de cada uno de los puntos, sílice disuelta y reducción alcalina, de cada una de las muestras de agregado fino y agregado grueso se ubica en el área de los agregados considerados inocuos. Por lo tanto los agregados cumplen con las especificaciones de esta norma y se consideran adecuados para su utilización en mezclas de concreto.

Figura 7. Gráfica de resultados de división entre agregados inocuos y dañinos



3.7 Análisis Petrográfico (ASTM C 295)

El análisis petrográfico se realizó con un microscopio estereoscópico en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El resultado se presenta y analiza a continuación.

3.7.1 Agregado fino

Utilizando el material tamizado del ensayo de granulometría se realizó el análisis petrográfico para cada número de los tamices indicados, contando un mínimo de 150 partículas cuando se disponía de ellas.

Luego se clasificó el tipo de partículas y minerales de la muestra, las partículas se clasificaron en seis tipos, estos son: vidrio volcánico traslucido, obsidiana, pómez, andesita, brecha andesita y dacita. A continuación se muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz

Tabla XIV. Porcentaje de material retenido en cada tamiz

Tamiz No.	Porcentaje retenido
3/8" (9.40 mm)	0
No. 4 (4.76 mm)	0
No. 8 (2.38 mm)	0
No. 16 (1.19 mm)	0.84
No. 30 (600 μm)	13.38
No. 50 (300 μm)	52.11
No. 100 (150 μm)	28.82

Tabla XV. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino

Tipo de mineral	Número de partículas por tamiz			
	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Vidrio volcánico Traslucido	5	83	60	72
Obsidiana	18	62	48	49
Pómez	117	3	16	13
Andesita	15	20	19	15
Brecha andesita	0	6	3	4
Dacita	17	6	4	11
Totales	172	180	150	164

Tabla XVI. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz

Tipo de mineral	Porcentaje de partículas por tamiz			
	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Vidrio volcánico traslucido	2.91	46.12	40	43.9
Obsidiana	10.47	34.44	32	29.88
Pómez	68.02	1.67	10.66	7.93
Andesita	8.72	11.11	12.67	9.14
Brecha andesita	0	3.33	2	2.44
Dacita	9.88	3.33	2.67	6.71
Totales	100	100	100	100

Como puede observarse, en las tablas XV y XVI se indica que la muestra en el tamiz No. 16 está compuesta principalmente por piedra pómez y un bajo porcentaje de obsidiana, dacita, andesita y vidrio volcánico traslucido, en los tamices No. 30, 50 y 100 tienen un alto porcentaje de vidrio volcánico traslucido y obsidiana y porcentajes menores de andesita, brecha andesita, dacita y piedra pómez. De estos materiales el que es dañino para el concreto es el vidrio

volcánico traslucido, la obsidiana y la piedra pómez. El vidrio volcánico y la obsidiana son dañinos para el concreto, debido a que sus partículas son vítreas, las cuales no tienen adherencia y esto provocaría una segregación en el concreto. La piedra pómez no sería adecuada para la elaboración de mezclas de concreto debido a que estas se forman a partir de magmas muy ácidos, las cuales tendrían sustancias alcalinas que reaccionarían con el cemento, además, por la baja densidad y porosidad no alcanzarían la resistencia de un concreto estructural.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, se han elaborado las gráficas de las figuras 7 y 8 que muestran la distribución y porcentaje de los diferentes tipos de partículas por número de tamiz y el contenido promedio de los componentes de la muestra, respectivamente.

Figura 8. Distribución de los diferentes tipos de partículas para agregado fino

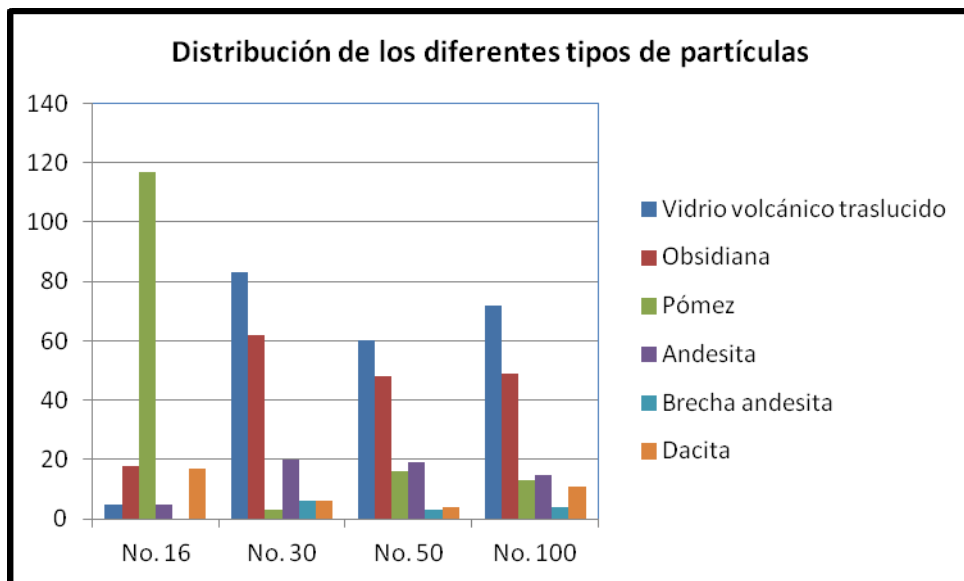
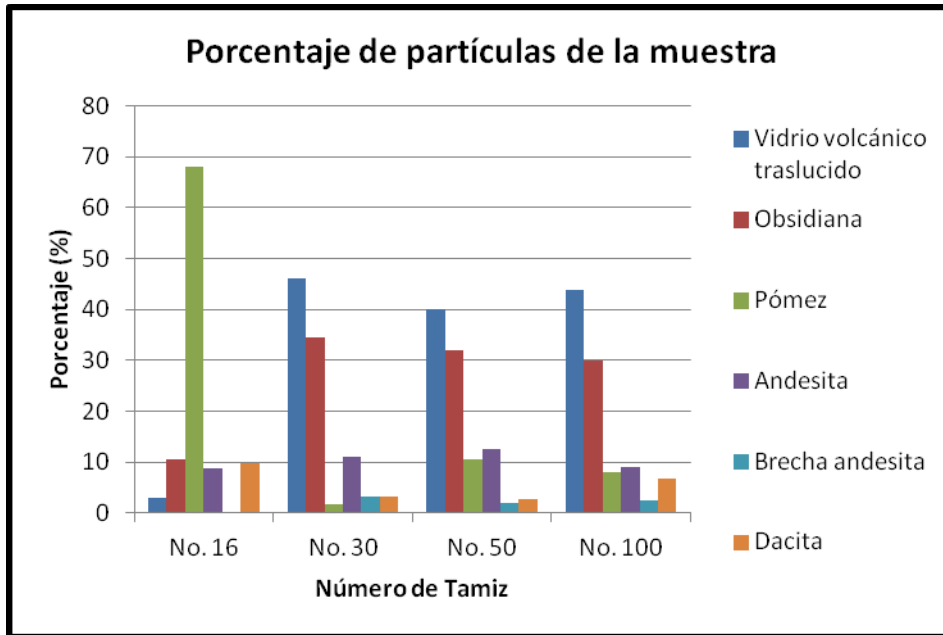


Figura 9. Porcentaje promedio de partículas para agregado fino



3.7.2 Agregado grueso

El examen petrográfico realizado a este tipo de material se efectuó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Como el material es triturado, las partículas son homogéneas. Los resultados del análisis se detallan a continuación.

Tipo: roca ígnea

Subtipo: extrusiva (volcánica)

Color: gris

Textura: porfídica

Estructura: no presente

Nombre: andesita y brecha andesita

No presenta componentes reactivos dañinos para fabricación de concreto.

3.7.3 Definición de las rocas que componen los agregados

3.7.3.1 Vidrio volcánico traslúcido

Este tipo de roca es enteramente vítrea, de composición variada y color transparente o incoloro que se forma por el enfriamiento rápido de lavas viscosas. Suele aparecer en la parte alta de las coladas volcánicas.

3.7.3.2 Obsidiana

Son rocas que se forman cuando el magma es expulsado por erupción sobre la superficie a través de grietas o aberturas volcánicas. Su textura es vítrea, está constituida por una pasta uniforme que no presenta cristales, es de color negro brillante que se forma por el enfriamiento rápido de lavas viscosas.

3.7.3.3 Piedra pómez

Roca con densidad muy baja y gran porosidad. Se forma a partir de magmas muy ácidos, y por lo tanto muy viscosos. Durante su formación el gas que contiene el magma no puede salir debido a la alta viscosidad y por ello esta roca tiene tanta porosidad y una densidad tan baja. Una de las características de esta roca es que flota en el agua y se presentan en color blanco o gris.

3.7.3.4 Andesita

En esta roca se observa la textura porfídica con cristales de plagioclasa (blancos) y anfíboles (oscuros) y en menor proporción algunos piróxenos

(también oscuros). La matriz es densa y microcristalina de color negro, gris, gris-verdoso y rojizo-café.

3.7.3.5 Brecha andesita

Roca clástica formada por diversos elementos de tamaño variable, unidas por un cemento de naturaleza diversa. Sus elementos constituyentes tienen bordes angulosos, por haber sufrido poco transporte, y pueden proceder de una clase de roca o de varias. Según su naturaleza.

3.7.3.6 Dacita

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.

3.8 Sulfato de sodio (ASTM C-88)

Se realizaron las pruebas según especificaciones requeridas por la norma ASTM C-88, los resultados se describen a continuación.

3.8.1 Agregado fino

Tabla XVII. Datos del ensayo de desgaste de sulfato de sodio para agregado fino

Tamaños		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de desgast e	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDO					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	33.67	100.00	93.60	6.40	2.15
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 m)	52.11	100.00	78.00	22.00	11.46
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	13.38	100.00	88.80	11.20	1.50
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	0.84	100.00	88.60	11.40	0.10
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	0.00	100.00	85.50	14.50	0.0
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0.00	-----	-----	4.50	0.00
TOTALES		100.00	500.00	434.50	-----	15.21

De acuerdo con la norma ASTM C-88, indica que el porcentaje máximo permisible de desgaste debe ser del 10%. En la tabla XVII notamos que el tamiz que cumple con lo especificado es el que pasa el No. 50 y queda retenido en el No. 100 y los de más no cumplen con lo descrito en la norma.

3.8.2 Agregado grueso

Tabla XVIII. Datos del ensayo de desgaste de sulfato de sodio para agregado grueso

Tamaños		Graduación por fracción	Antes del ensayo	Después del ensayo	% de desgaste	Desgaste ref. a graduación.
PASA	RETENIDO					
2 ½" (63.5 mm)	1 ½" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 ½" (38.1 mm)	¾" (19.05 mm)	16.87	1500.00	1491.60	0.56	0.09
¾" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	48.88	1000.00	962.70	3.73	1.82
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	12.74	300.00	292.00	2.67	0.34
	Fondo	21.50	-----	-----	2.67	0.57
Totales		100.00	2800.00	2746.30	-----	2.83

De la tabla XVIII, se observa que los porcentajes de desgaste cumplen con lo descrito en la norma ASTM C-88, ya que sólo es permisible el 10% de desgaste y los resultados se encuentran dentro del rango permisible.

3.9 Ruptura de testigos de roca ASTM C-42

Los núcleos de rocas se ensayan cuando se confirma la posibilidad de que el concreto sea de baja resistencia y los cálculos indican que la capacidad de carga redujo significativamente.

Según ACI 318S-05, capítulo 5. Los núcleos deben prepararse para su traslado y almacenamiento, secando el agua de perforación de la superficie del

núcleo y colocándolos dentro de recipientes o bolsas herméticas inmediatamente después de su extracción. Los núcleos deben ser ensayados después de 48 horas y antes de los 7 días de extraídos, a menos que el profesional de diseño registrado apruebe algo diferente.

El concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85% de f'_c , y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de f'_c . Cuando los núcleos den valores erráticos, se debe permitir extraer núcleos adicionales de la misma zona.

Tabla XIX. Datos del ensayo de núcleos de roca

Testigo	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Altura nivelada	Carga (lb)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (lb/plg ²)
1	3.38	4.40	8.96	9.44	19500	581.71	8273.82
2	3.50	4.46	8.78	9.42	16500	479.06	6813.82

Para este ensayo se tomaron dos núcleos de roca y se procedieron a ensayar de acuerdo con el código ACI 318S-05, capítulo 5. Se ensayaron a los tres días después de su extracción. En los resultados se puede analizar que en promedio dio una resistencia alta, de acuerdo con esto el material se puede utilizar donde se requiera una resistencia alta.

3.10 Diferentes diseños de mezcla

Con los resultados obtenidos del análisis completo de agregados finos y gruesos contenidos en la norma ASTM C-33, se realizaron dos diseños teóricos de mezcla, siendo el primero un concreto de 3,000 psi (210 kg/cm²), y el segundo un concreto de 4,000 psi (281 kg/cm²), utilizando cemento UGC. Los diseños de mezcla están sugeridos para agregados en condición seco-saturados.

Para evaluar los diseños propuestos, se analizaron 6 cilindros de cada diseño de mezcla, para su control de resistencia con el ensayo a compresión, el cual se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Dichos ensayos se realizaron a edades de 14, 21 y 28 días, tomando 2 cilindros para cada edad, por ser de dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura.

Según la PCA estipula que la resistencia compresión a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10 y 15% mayores que la resistencia a los 28 días. Esto también dependerá del tipo de cemento a utilizar, en nuestro caso se uso cemento UGC, lo cual se podrían tomar las resistencias antes mencionadas, como datos de comparación.

A continuación, se detallan los dos diseños teóricos de mezcla realizados, especificando para cada uno de ellos las proporciones de materiales para la elaboración del concreto. Dichas proporciones se brindan en peso, y volumen, en litros y en kg/m³. También se describen los resultados de resistencia de cilindros de concreto, para lo cual se realizó el ensayo de la norma ASTM C-39. El asentamiento obtenido para el diseño de 3,000 psi (210 kg/cm²) fue de 6.5 cm. Y para el de 4,000 psi (281 kg/cm²) fue de 10 cm.

3.10.1 Diseño teórico de mezcla de 3000 psi (210 kg/cm²)

Resistencia nominal = 210 kg/cm²

Resistencia promedio requerida = 246 kg/cm²

Relación agua/cemento = 0.57

Tabla XX. Datos derivados del diseño teórico de mezcla, resistencia nominal de 210 kg/cm²

Concreto nominal f'c = 210 kg/cm ²			
Materiales	Cantidad de material para elaborar 1 m ³ de concreto en kg	Proporción en peso	Cantidad de material para 1 saco de cemento de 42.5 kg.
Cemento	350.88	1	42.5 kg.
Arena	813.61	2.32	98.6 kg.
Piedrín/Grava	1035.51	2.95	125.4 kg.
Agua libre	200.00	0.57	24.22 lt.

3.10.2 Diseño teórico de mezcla de 4000 psi (281 kg/cm²)

Resistencia nominal = 281 kg/cm²

Resistencia promedio requerida = 316 kg/cm²

Relación agua/cemento = 0.50

Tabla XXI. Datos de diseño teórico de mezcla, resistencia nominal de 281 kg/cm²

Concreto nominal f'c = 281 kg/cm ²			
Materiales	Cantidad de material para elaborar 1 m ³ de concreto el kg.	Proporción en peso	Cantidad de material para 1 saco de cemento de 42.5 kg.
Cemento	400.00	1	42.5 kg.
Arena	792.00	1.98	84.15 kg.
Piedrín/Grava	1008.00	2.52	107.1 kg.
Agua libre	200.00	0.50	21.25 lt.

3.10.3 Ensayo de concreto a compresión

Este ensayo se aplicó a ambas muestras. Se fundieron cilindros de concreto como lo especifica la norma, para resistencias de 3000 psi (210 kg/cm²) y 4000 psi (281 kg/cm²). Luego estos fueron curados y ensayados a los 14, 21 y 28 días.

Los cilindros fueron ensayados en grupos de dos unidades por resistencia, de esta forma puede tenerse un punto de comparación en caso de un error al realizar el ensayo. Los resultados de las pruebas se muestran en las tablas siguientes.

**Tabla XXII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto normal
f'c=210 kg/cm² (3,000 psi)**

Diseño	Cilindro	Edad	Peso (kg)	Área (cm ²)	Carga (lb)	f'c kg/cm ²	f'c lb/plg ²
1	A	14	12.681	15.253	69,056	171.42	2438.09
1	B	14	12.717	15.133	67,107	169.23	2407.00
1	A	21	12.822	15.123	68,071	171.89	2444.81
1	B	21	12.818	15.133	74,476	187.81	2671.31
1	A	28	12.845	15.103	69,056	174.84	2486.76
1	B	28	12.905	15.217	75,461	188.22	2677.08

En la tabla anterior se tabulan los resultados obtenidos del ensayo a compresión, los cuales muestran las resistencias alcanzadas en los cilindros de concreto a las edades correspondientes. Dichas resistencias alcanzan un 81% de la resistencia de diseño a la edad de 14 días, un 85% a la edad de 21 días y 89% a la edad de 28 días.

**Tabla XXIII. Resultados de resistencia de cilindros de concreto normal
f'c=281 kg/cm² (4,000 psi)**

Diseño	Cilindro	Edad	Peso (kg)	Area (cm ²)	Carga (lb)	f'c kg/cm ²	f'c lb/plg ²
2	A	14	12.802	15.130	82,788	208.87	2970.76
2	B	14	13.722	15.090	81,816	207.51	2951.46
2	A	21	13.010	15.193	82,788	207.13	2946.04
2	B	21	12.881	15.090	85,220	216.14	3074.26
2	A	28	12.919	15.027	93,546	239.27	3403.12
2	B	28	12.871	15.187	89,617	224.41	3191.85

En la tabla anterior se tabulan los resultados obtenidos del ensayo a compresión, los cuales muestran las resistencias alcanzadas en los cilindros de concreto a las edades correspondientes. Dichas resistencias alcanzan un 74% de la resistencia de diseño a la edad de 14 días, un 77% a la edad de 21 días y 85% a la edad de 28 días.

Los resultados obtenidos con relación a las propiedades mecánicas del concreto elaborado con los agregados del banco estudiado, no son satisfactorios, debido a que no se alcanzaron las resistencias de diseño a los 28 días.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con las características físicas de los agregados gruesos estos cumplen con el peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos y porcentaje de absorción, no así con la granulometría, ya que la graduación no está dentro de los límites que exige la norma.
2. En cuanto a las propiedades mecánicas del agregado grueso, el desgaste en la máquina de los ángeles está en el rango establecido en la norma, por lo cual sus características son aceptables.
3. El agregado fino se encuentra dentro de los límites que establece la norma en el peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción y contenido de materia orgánica. El módulo de finura y la granulometría no cumplen con los requisitos, el valor del módulo de finura está por debajo de lo establecido en la norma y la graduación en la granulometría está fuera de los límites que establece la misma.
4. En las propiedades químicas realizadas a los agregados gruesos y finos, se descubrió que ambos agregados no presentan sustancias reactivas, por lo tanto no reaccionarán con los sulfatos contenidos en el cemento Portland.
5. En el análisis petrográfico, el agregado grueso indica que no presenta componentes dañinos para la elaboración del concreto.

6. En el agregado fino, el análisis petrográfico indica que contiene un porcentaje alto de vidrio volcánico, esto sería perjudicial para el concreto porque provocaría una segregación al momento de elaborar la mezcla.
7. En relación con la resistencia de diseño considerada para la dosificación teórica de mezclas, cuyos valores no fueron alcanzados en los ensayos en cilindros a compresión a 28 días de edad, se concluye que esto sucedió debido a la mala graduación granulométrica natural de los agregados del banco en estudio.
8. En relación con los resultados de desgaste por sulfato de sodio en agregado grueso es aceptable, ya que no se desgastaron más del 10% establecido en la norma ASTM C-88.
9. En los resultados de desgaste por sulfato de sodio el agregado fino, no es aceptable, debido a que el material que pasan los tamices 30, 16, 8 y 4, presentan un porcentaje fuera del rango permisible establecido en la norma ASTM C-88.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que para cualquier obra civil donde se utilicen mezclas de concreto y mortero, se realicen análisis correspondientes de materiales a utilizar, con el objetivo de garantizar la calidad y seguridad estructural de las edificaciones.
2. Los agregados gruesos analizados se podrían utilizar únicamente si se tiene la graduación adecuada de los mismos, esto se podría lograr por medio de un proceso de industrialización con el quipo adecuado.
3. Para que los agregados finos del banco en estudio puedan utilizarse para la elaboración de mezclas de concreto estructural, deberán graduarse adecuadamente a través de procedimientos de tamizado que permitan mejorar la curva granulométrica y el módulo de finura de los mismos.
4. Para evitar la segregación en las mezclas derivadas del contenido de vidrio en el agregado fino es recomendable utilizar un aditivo que permita reducir el contenido de agua en las mismas, si y sólo si la graduación granulométrica se corrige.
5. En cuanto al agregado fino que no cumplió con el ensayo de desgaste por sulfato de sodio, se recomienda que se analice con un cemento de alta resistencia a los sulfatos, para verificar si se logra estabilizar la acción de ataque de sulfatos en el agregado.

6. Debiera analizarse en trabajos posteriores, si los agregados obtenidos en el banco estudiado, podrían utilizarse en sub-bases y bases para la construcción de carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM *Book of standards. Standard specification for concrete aggregates.* USA: ASTM C-33-01 Vol. 04.02. 2002.
2. Kosmatka, Steven H. y otros. **Diseño y control de mezclas de concreto.** EE.UU: Portland Cement Association (PCA), 2004. 468 p.
3. Nilson, Arthur H. **Diseño de estructuras de concreto.** Duodécima edición. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A. 2005. 722 p.
4. Ordoñez Gabriel, Dilma Mejicanos y Paulino Alvarado. Manual de laboratorio del curso de materiales de construcción. Guatemala: 2002. 145 p.
5. Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 71 p.
6. Morales Ramírez Evelyn Maribel. Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Ingeniería, 2006.
7. Chan Yam, José Luis y otros. “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”. Ingeniería. Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. (México) (7-2): 39. 2003
8. Martínez Patzán Rudy Estuardo. Calidad de dos bancos de agregados para concreto, en el departamento de Chiquimula. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de ingeniería, 2009.

APÉNDICES

Figura 10. Fotografías del almacenamiento del banco de material



Tabla XXIV. Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contengan sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato acuosoluble (SO ₄) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de cemento	Concreto de peso normal, relación máxima agua-material cementante en peso*	Concreto de peso normal y ligero, f _c mínimo, Mpa*
Insignificante	$0.00 \leq SO_4 < 0.10$	$0 \leq SO_4 < 150$	-----	-----	-----
Moderada \bar{I}	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	$0.20 \leq SO_4 < 2.00$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0.45	31
Muy severa	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10000$	V mas puzolana \pm	0.45	31

Tabla 4.3.1 ACI

* Se debe usar la menor relación agua-material cementante aplicable y el mayor f_c mínimo.

\bar{I} Agua de mar

\pm Puzolana que se ha determinado por medio de ensayos o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa concretos que contienen cemento tipo V.

Tabla XXV. Datos para diseño de mezclas (Calculados para 1 m³ de concreto fresco)

Resistencia media requerida a los 28 días		Tamaño máximo del agregado		Concentración de pasta		Agua en litros para los distintos asentamientos indicados en cm.				% de agregado fino Vol. Abs/Agr. Total			% aire		
										M.F.			M.F.		
Kg/cm ²	Lb/plg ²	mm.	Plg.	W/C	C/W	0 a 2	2 a 5	5 a 10	10 a 15	2.2-2.6	2.6-2.9	2.9-3.2	2.2-2.6	2.6-2.9	2.9-3.2
140	2,000	19.1	3/4	0.65	1.54	165	175	186	197	47	49	51	4.8	4.9	5
		25.4	1	0.65	1.54	157	165	173	181	44	46	48	4.4	4.5	4.6
		38.1	1 1/2	0.65	1.54	154	160	166	193	42	44	46	4	4.1	4.2
175	2,500	19.1	3/4	0.60	1.67	165	175	186	197	45	47	49	4.3	4.4	4.5
		25.4	1	0.60	1.67	157	165	173	181	42	44	46	3.7	3.8	3.9
		38.1	1 1/2	0.60	1.67	154	160	166	193	40	42	44	3.3	3.4	3.5
210	3,000	19.1	3/4	0.56	1.79	164	171	184	195	44	46	48	3.6	3.7	3.8
		25.4	1	0.56	1.79	156	164	172	180	41	43	45	3	3.1	3.2
		38.1	1 1/2	0.56	1.79	154	160	166	191	39	41	43	2.6	2.7	2.8
246	3,500	19.1	3/4	0.52	1.92	164	174	184	195	42	44	46	3.1	3.2	3.3
		25.4	1	0.52	1.92	156	164	172	180	39	41	43	2.3	2.4	2.5
		38.1	1 1/2	0.52	1.92	154	160	166	191	37	39	41	1.9	2	2.1
281	4,000	19.1	3/4	0.49	2.04	162	172	182	193	40	42	44	2.6	2.7	2.8
		25.4	1	0.49	2.04	155	163	171	179	37	39	41	2	2.1	2.2
		38.1	1 1/2	0.49	2.04	154	160	166	189	35	37	39	1.6	1.7	1.8
316	4,500	19.1	3/4	0.46	2.17	162	172	182	193	38	40	42	2.4	2.5	2.6
		25.4	1	0.46	2.17	155	163	171	179	35	37	39	1.7	1.8	1.9
		38.1	1 1/2	0.46	2.17	154	160	166	189	33	35	37	1.4	1.5	1.6

Fuente. Tabla No. 6 del manual de laboratorio del curso de materiales de construcción