



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

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA
ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL
PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN**

Edvin Waldemar Barrios Sales

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA
ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL
PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDVIN WALDEMAR BARRIOS SALES

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA
ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL
PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de marzo de 2015.

Edvin Waldemar Barrios Sales



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



Guatemala, 7 de junio de 2016

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLAN**, elaborado con el estudiante universitario Edvin Waldemar Barrios Sales, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Barrios Sales, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
12 de agosto de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edvin Waldemar Barrios Sales quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





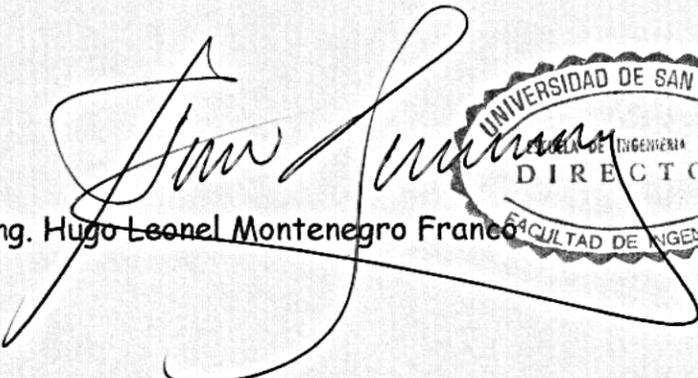
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



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 del estudiante Edvin Waldemar Barrios Sales, titulado **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2016

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

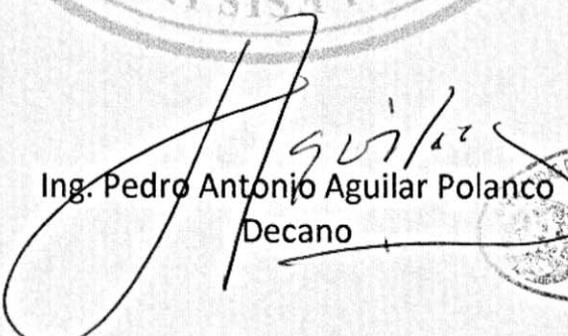




DTG. 474.2016

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: **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario: **Edvin Waldemar Barrios Sales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser quien me dio todo en la vida, por cuidar de mí y de mi familia, por brindarme fortaleza y sabiduría para enfrentar cada situación de la vida.
- Mis padres** Edvin Emilio Barrios Pérez y Amparo de Jesús Sales Somoza, por su amor, cariño y apoyo incondicional; gracias por formarme como un hombre de bien. Este logro no lo hubiese alcanzado sin ustedes, los amo.
- Mi hermana** Caren Eunice Barrios Sales, por motivarme a seguir adelante, te quiero mucho.
- Mis abuelos** Mercedes Barrios, Lesbia Pérez, Raúl Sales y Alicia Somoza, por sus sabios consejos, los cuales siempre tendré presente para salir adelante.
- Mis tíos** Por brindarme su cariño y apoyo en todo momento, les agradezco de corazón sus consejos y la confianza depositada en mí.
- Mis primos y sobrinos** Por ser parte importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Inga. Dilma Yanet
Mejicanos Jol**

Gracias por su valiosa amistad, por el tiempo y conocimientos aportados en la realización de este trabajo.

**Sección de Agregados,
Concretos y Morteros**

Especialmente a Iván Cano, Elder Ramos, César Vásquez y Guillermo Lucero por su colaboración y ayuda en la realización de este trabajo.

**Centro de
Investigaciones de
Ingeniería**

Por haberme permitido realizar mi trabajo de graduación dentro de sus instalaciones.

Facultad de Ingeniería

Por formarme como ingeniero civil.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

**Autoridad para el
manejo sustentable de
la cuenca y del lago de
Amatitlán (Amsa)**

Especialmente a la Licda. Melisa Castro, por su apoyo para la realización de este trabajo.

Multiblocks, S.A.

Por haberme permitido realizar mis prácticas y ser quienes me brindaron mi primera experiencia profesional. Agradezco al Ing. Francisco Padilla sus conocimientos compartidos y su amistad.

Mis amigos

Especialmente a Paúl Monzón y Julio Álvarez, por su amistad incondicional, experiencias y conocimientos compartidos durante la carrera. Gracias por su valiosa ayuda para realizar este trabajo.

1.3.5.	Ensayos para la caracterización física de los agregados finos.....	16
1.3.5.1.	Granulometría del agregado fino, según NTG 41010 h1 (ASTM C-136) ...	17
1.3.5.2.	Masa unitaria y porcentaje de vacíos del agregado fino, según NTG 41010 h2 (ASTM C-29)	19
1.3.5.3.	Masa específica relativa, masa específica, absorción y humedad del agregado fino, según NTG 41010 h9 (ASTM C-128)	20
1.3.5.4.	Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, según NTG 41010 h6 (ASTM C-88)	22
1.3.6.	Sustancias perjudiciales en los agregados.....	23
1.3.6.1.	Impurezas orgánicas	24
1.3.6.2.	Recubrimientos	25
1.3.6.3.	Partículas inestables	26
1.3.7.	Ensayos para sustancias perjudiciales en agregados	27
1.3.7.1.	Impurezas orgánicas, según NTG 41010 h4 (ASTM C-40)	27
1.3.7.2.	Material que pasa el tamiz No. 200, según NTG 41010 h3	28
1.3.7.3.	Terrones de arcilla y partículas desmenuzables, según NTG 41010 h10 (ASTM C-142)	29
1.4.	Reacciones químicas de los agregados.....	30

1.4.1.	Reacción álcali-agregado	30
1.4.2.	Reactividad álcali-sílice (RAS).....	32
1.4.2.1.	Condiciones que intervienen en la RAS	33
1.4.2.2.	Manifestaciones visuales de una reacción álcali-sílice.....	33
1.4.3.	Identificación de un agregado potencialmente reactivo	36
1.4.4.	Materiales y métodos para el control de la RAS	37
1.4.5.	Ensayos para determinar la reacción álcali-sílice ...	39
1.4.5.1.	Examen petrográfico de los agregados para concreto, según Norma ASTM C-295	39
1.4.5.1.1.	Toma de muestras.....	41
1.4.5.1.2.	Selección de las muestras.....	42
1.4.5.1.3.	Exámenes de la grava natural	43
1.4.5.1.4.	Exámenes de la arena natural	44
1.4.5.1.5.	Cálculos.....	44
1.4.5.1.6.	Informes	45
1.4.5.2.	Reactividad potencial álcali-sílice en los agregados (método químico), según NTG 41010 h14 (ASTM C- 289)	46
1.4.5.2.1.	Procedimiento.....	46
1.4.5.2.2.	Interpretación de resultados.....	47

1.4.5.3.	Reactividad potencial álcali-sílice en los agregados (método de la barra de mortero), según NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)	49
1.4.5.3.1.	Selección del agregado	49
1.4.5.3.2.	Preparación del agregado	50
1.4.5.3.3.	Procedimiento	50
1.4.5.3.4.	Cálculos	51
1.4.5.3.5.	Interpretación de resultados.....	52
1.4.6.	Ataque por sulfatos y sulfuros	53
1.4.6.1.	Ataque por sulfatos (DEF)	53
1.4.6.1.1.	La etringita en el concreto y sus formas ...	54
1.4.6.2.	Ataque por sulfuros	55
1.4.7.	Ataque por cloruros	56
1.4.8.	Ensayos para determinar el contenido de sulfatos y cloruros en agregados para concreto, según UNE 1744-1	56
1.4.8.1.	Determinación de los cloruros solubles en agua por el método de Volhard (método de referencia).....	57
1.4.8.1.1.	Muestreo	57
1.4.8.1.2.	Preparación de los extractos.....	58
1.4.8.1.3.	Procedimiento operatorio para	

	determinar el contenido de cloruros en los extractos	59
1.4.8.1.4.	Cálculos y expresión de los resultados	59
1.4.8.2.	Determinación de los sulfatos solubles en agua.....	60
1.4.8.2.1.	Muestreo	60
1.4.8.2.2.	Preparación de los extractos.....	61
1.4.8.2.3.	Procedimiento operatorio para determinar el contenido de cloruros en los extractos	61
1.4.8.2.4.	Cálculos y expresión de los resultados	62
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	63
2.1.	Localización del banco en estudio.....	63
2.2.	Descripción geológica de la cuenca del lago de Amatitlán.....	64
2.2.1.	Acetato de fallas	65
2.2.1.1.	Depósitos cuaternarios	65
2.2.1.2.	Depósitos terciarios	65
2.2.1.3.	Depósitos cretácicos.....	66
2.2.1.4.	Depósitos recientes	66
2.3.	Materiales	67
2.3.1.	Arena de río	67
2.3.1.1.	Recolección de las muestras.....	68

	2.3.1.2.	Preparación de la muestra	68
	2.3.2.	Cemento.....	68
2.4.		Ensayos físicos	68
2.5.		Ensayos químicos y petrográficos.....	70
2.6.		Ensayos mecánicos	71
	2.6.1.	Proporciones	71
	2.6.2.	Ensayo de cubos y briquetas de mortero	73
	2.6.3.	Ensayo de medición de la expansión o contracción de barras de mortero.....	75
3.		TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
3.1.		Ensayos físicos	77
	3.1.1.	Granulometría	77
	3.1.2.	Estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio.....	80
	3.1.3.	Determinación de terrones de arcilla y partículas friables.....	81
3.2.		Ensayos químicos	82
	3.2.1.	Examen petrográfico	82
	3.2.1.1.	Definición de los minerales que componen la arena del río Michatoya ..	85
	3.2.1.1.1.	Andesita y escorias volcánicas	86
	3.2.1.1.2.	Piedra pómez.....	86
	3.2.1.1.3.	Vidrio volcánico traslúcido.....	86
	3.2.2.	Reactividad potencial álcali-sílice (método químico).....	87

3.2.3.	Determinación del contenido de cloruros solubles en agua por volumetría	88
3.2.4.	Determinación del contenido de sulfatos solubles en agua por volumetría	88
3.3.	Ensayos mecánicos.....	89
3.3.1.	Reactividad potencial álcali-sílice (método de la barra de mortero).....	89
3.3.2.	Ensayo de cubos de mortero a compresión.....	90
3.3.3.	Ensayo de briquetas de mortero a tensión	91
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		95
BIBLIOGRAFÍA		97
APÉNDICES		101
ANEXOS.....		103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	División política de la cuenca del lago de Amatitlán.....	2
2.	Uso del suelo en la cuenca del lago de Amatitlán	3
3.	Lago de Amatitlán	4
4.	Desagüe del lago de Amatitlán	8
5.	Agregado fino (arena)	13
6.	Condiciones de humedad de los agregados	21
7.	Fisuración del concreto debido a la reacción álcali-agregado.....	32
8.	Gel de RAS y agrietamiento.....	34
9.	Erupción causada por RAS de la arena	35
10.	Influencia en la expansión de la barra de mortero (ASTM C-1260) de diferentes cantidades de ceniza volante, escoria y humo de sílice con relación a la masa de material cementante después de 14 días, al usarse agregado reactivo	39
11.	División entre agregados inocuos y dañinos con base en el ensayo de la reducción en alcalinidad	48
12.	Mapa de localización del banco	64
13.	Arena del río Michatoya	67
14.	Elaboración de los ensayos físicos en el laboratorio.....	69
15.	Muestras de arena utilizadas para el examen petrográfico	70
16.	Elaboración de cubos, briquetas y barras de mortero	73
17.	Ensayo de compresión de cubos de cemento y arena de río.....	74
18.	Ensayo de tensión de briquetas de cemento y arena de río	74
19.	Medición de expansión o contracción de barra de mortero.....	75

20.	Granulometría de la arena del río Michatoya.....	78
21.	Distribución de los diferentes tipos de partículas de la arena	84
22.	Porcentaje de partículas de la arena	85

TABLAS

I.	Características físico-químicas del agua que desagua el lago de Amatitlán en el río Michatoya.....	10
II.	Ensayos para la caracterización de los agregados finos	16
III.	Límites granulométricos del agregado fino	17
IV.	Límites para las sustancias perjudiciales en el agregado fino para concreto	24
V.	Ensayos para sustancias perjudiciales en agregados	27
VI.	Métodos de ensayo para la reactividad álcali-sílice	36
VII.	Minerales reactivos potencialmente perjudiciales y materiales sintéticos.....	37
VIII.	Cantidades de material para el análisis petrográfico	42
IX.	Requisitos de graduación de los agregados	50
X.	Masa mínima de la muestra.....	58
XI.	Proporción utilizada para las diferentes mezclas	72
XII.	Propiedades físicas de la arena extraída del río Michatoya.....	78
XIII.	Datos del ensayo de estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio de la arena del río Michatoya	80
XIV.	Datos del ensayo de determinación de terrones de arcilla y partículas friables.....	81
XV.	Porcentaje de material retenido en cada tamiz.....	82
XVI.	Cantidad de las partículas que componen la arena	83
XVII.	Porcentaje de partículas que componen la arena por tamiz	83
XVIII.	Resultado del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice	87

XIX.	Resultado del ensayo de contenido de cloruros solubles en agua por volumetría	88
XX.	Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles en agua por volumetría	89
XXI.	Ensayo de reactividad potencial álcali-sílice, mediante el método de la barra de mortero.....	90
XXII.	Resultados de mortero a compresión.....	91
XXIII.	Resultados de mortero a tensión	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
Cl ⁻	Cloruro
SO ₂	Dióxido de azufre
°C	Grado Celsius
° , ' , ''	Grado, minuto, segundo
g	Gramo
kg	Kilogramo
kg/m ²	Kilogramo por metro cuadrado
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
km	Kilómetro
km ²	Kilómetro cuadrado
lb	Libra
PSI	Libra por pulgada cuadrada
l	Litro
±	Más menos
≥	Mayor igual que
>	Mayor que
MPa	Megapascal
≤	Menor igual que
<	Menor que
m	Metro
m ²	Metro cuadrado

m³	Metro cúbico
µm	Micrómetro (1×10 ⁻⁶ m)
mg/L	Miligramo por litro
mg/m³	Miligramo por metro cúbico
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mmol/L	Milimol por litro
min	Minuto
No.	Número
K₂O	Óxido de potasio
Na₂O	Óxido de sodio
Na₂O_{eq}	Óxido de sodio equivalente
O₂	Oxígeno diatómico
ppm	Partículas por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
”, pulg	Pulgada
f’c	Resistencia última del concreto
Sc	Sílice disuelta
SO₄⁻²	Sulfato
C₆AS₃H₃₂	Sulfo-aluminato cálcico hidratado cristalino (etringita)
SO₃	Trióxido de azufre

GLOSARIO

Álcalis	Carbonatos, hidróxidos y óxidos que se forman cuando elementos de metales alcalinos entran en contacto con el agua. El sodio y el potasio son los elementos alcalinos del cemento Portland.
Andesita	Roca ígnea volcánica de grano fino sin cuarzo o sin ortoclasa; compuesta de feldespato, plagioclasa y por minerales máficos-biotita, anfíboles y piroxenos. Este tipo de rocas es propia de los volcanes que se forman en los bordes continentales.
Arcilla	Mineral constituido por agregados de silicatos de aluminio, formados por la descomposición de minerales de aluminio. Se presenta en diversas coloraciones dependiendo de las impurezas que contiene, cuando es pura su color es blanco.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales (American Society for Testing and Materials).

Biotita	Mineral que pertenece al grupo de los silicatos de aluminio y potasio, además contiene magnesio y hierro. Es la roca más oscura de las micas, de color verde oscuro o pardo. Se presenta en escamas diseminadas en rocas ígneas como el granito y la sienita, en rocas volcánicas y en algunos gneis y esquistos.
Calcita	Carbonato de calcio, muy abundante, el cual se cristaliza en formas hexagonales, por lo general es de color blanco; en otras ocasiones es transparente.
Caliza	Roca de origen sedimentario compuesta principalmente por calcitas.
Ceniza volante	Puzolana artificial, muy parecida al polvo de cemento. Es un subproducto de la combustión de carbón bajo condiciones reducidas de oxígeno. El color de la ceniza puede tender al gris o al negro, el cual dependerá de la fuente. Generalmente la tendencia clara indica altos contenidos de cal, y de gris a negro indica altos contenidos de carbón.
Cuarzo	Mineral formado por la sílice, es de brillo vítreo e incoloro en estado puro. El color puede variar dependiendo de las sustancias con las que se mezcle.

Dacita	Roca ígnea volcánica con alto porcentaje de hierro en su contenido. Está compuesta principalmente de feldespatos, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno. Asimismo posee cuarzo en forma de fenocristales.
DEF	Siglas en inglés del retraso en la formación de etringita (<i>delayed ettringite formation</i>).
Disrupción	Ruptura brusca.
Deletéreo	Denominación que reciben los materiales pétreos que contienen sustancias nocivas, que al emplearlos como agregados para concreto son perjudiciales para la durabilidad del mismo.
Etringita	Sulfo-aluminato de calcio hidratado que se produce durante las primeras fases de hidratación del cemento Portland a partir de la reacción del aluminato del clinker con el yeso.
Escoria	Producto no metálico formado por la fundición de metales, el cual está compuesto por silicatos y aluminosilicatos de calcio.
Esquisto	Roca sedimentaria blanda, producto de la descomposición de partículas finas como la arcilla, limo o barro.

Feldespatos	Mineral conformado por silicatos de aluminio, calcio, sodio o potasio, es constituyente de las rocas ígneas y en menor porcentaje de las rocas sedimentarias y metamórficas. Este grupo de minerales se divide en dos clases: ortoclasas y plagioclasas.
Hornblenda	Mineral que forma parte de los silicatos o aluminosilicatos. Su color tiende a ser de oscuro a verde oscuro. Compone rocas como el granito o los gneises.
Inocuo	Denominación que reciben los materiales pétreos que no contienen sustancias nocivas, que al emplearlos como agregados para concreto no son perjudiciales para la durabilidad del mismo.
Limo	Sedimento formado por fragmentos de diferentes rocas, es transportado en suspensión por ríos y por el viento. El diámetro de sus partículas varía de 0,002 mm a 0,06 mm.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
Olivino	Mineral cristalino, formado por silicato de magnesio y hierro. Es de color verde con tonos amarillos, es de brillo fuerte y su dureza es menor a la del cuarzo; suele hallarse en rocas de origen volcánico.

Ortoclasa	Mineral que pertenece al grupo de los silicatos. Puede ser incoloro, de color gris, blanco, rosa carne, raramente amarillo o verde.
Piroclastos	Fragmentos de lava de tamaño, morfología y color variado que se emiten al ambiente durante las erupciones volcánicas. Por su morfología pueden distinguirse en: escorias, bombas, lapilli y cenizas.
Piroxeno	Producto del enfriamiento del magma, compuesto de aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio, entre otros materiales.
Plagioclasa	Mineral que forma parte de los feldespatos. Está compuesto principalmente por la albita y anortita, es de color blanco y tiene brillo vítreo nacarado.
Pómez	Roca volcánica muy porosa y ligera, producida por la liberación de burbujas de gas, siendo así de textura vesicular.
RAC	Reacción álcali-carbonato.
RAS	Reacción álcali-sílice.
Sílice	Compuesto de silicio y oxígeno. Componente de la arena. En la naturaleza puede hallarse en forma de cuarzo.

Vidrio volcánico

Producto de las lavas félsicas de extrusión de un volcán, se enfrían rápidamente. Comúnmente se hallan dentro de las corrientes de lava, donde la composición es de alto contenido de sílice, la cual induce una alta viscosidad y grado de polimerización de la lava.

RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación muestra el análisis y caracterización de las propiedades físicas y químicas de la arena de un banco del río Michatoya en el municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, con el fin de determinar la presencia de sustancias reactivas nocivas en la arena para evaluar su calidad, y además comparar los valores contenidos de estas sustancias con las especificaciones establecidas en las normas Coguanor, ASTM y otras complementarias como las EN.

Para llevar a cabo la investigación se tomó una muestra de arena, la cual fue llevada a los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería y Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, donde se practicaron las pruebas respectivas para determinar sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y petrográficas. Dentro de los ensayos que se realizaron, se pueden mencionar el análisis físico completo, reactividad álcali-sílice (método químico), extracción de cloruros y sulfatos, examen petrográfico, pruebas de compresión, tensión y reactividad álcali-sílice mediante barras de mortero.

Los resultados obtenidos muestran que el uso de la arena del río Michatoya, en morteros de cemento o mezclas de concreto no es apropiado, posiblemente podría utilizarse en morteros de cal o yeso u otras actividades, sin embargo debería hacerse un estudio para determinar lo contrario.

La determinación anterior se debe a los análisis de resultados, los cuales establecieron que, con el método de ensayo utilizado para determinar la reactividad álcali-sílice por el método químico no es posible comprobar si la

arena del río Michatoya es un material inocuo o deletéreo. Asimismo, en la determinación de la reactividad álcali-sílice por el método de la barra de mortero, la reacción de la arena con los álcalis del cemento es muy lenta, por lo que la durabilidad de concreto hecho con la arena será afectada a largo plazo.

Además, el agregado excede en su contenido, la cantidad de sustancias perjudiciales y materia orgánica, sobrepasando los límites establecidos en la Norma NTG 41007, por lo tanto la arena debe rechazarse para su utilización en concreto o morteros de cemento. También, el contenido de sulfatos y cloruros de la arena excede los límites establecidos en la Norma EN 1744-1, por lo tanto su uso para concreto estructural no es permitido. Sin embargo, algunas características físicas y mecánicas de la arena cumplen con los requerimientos que un agregado pétreo debe tener.

OBJETIVOS

General

Analizar y caracterizar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de la arena procedente de un banco del río Michatoya, en el municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala.

Específicos

1. Determinar y analizar las propiedades físicas de la arena del río Michatoya y comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).
2. Evaluar la estabilidad a la disgregación por intemperismo de la arena del río Michatoya mediante el método de ensayo de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88).
3. Analizar el comportamiento de la reactividad potencial álcali-sílice mediante el método químico de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289).
4. Analizar y evaluar el comportamiento de la reacción potencial álcali-sílice por medio del método de las barras de mortero según la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260).
5. Analizar la composición mineralógica de la arena del río Michatoya.

6. Determinar y analizar el contenido de cloruros y sulfatos de la arena del río Michatoya; con base en los resultados obtenidos evaluar si es nocivo el uso de la arena en concreto estructural.
7. Determinar la resistencia a la compresión y tensión de morteros a las edades de 3, 7 y 28 días.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional alrededor de la cuenca del lago de Amatitlán, ha afectado en el incremento de actividades comerciales, industriales y residenciales, lo cual implica un aumento en la demanda de agregados para concreto en la zona durante los últimos años.

Sin embargo, el crecimiento poblacional ha provocado altos niveles de contaminación en el lago de Amatitlán y sus efluentes. El río Michatoya, principal efluente del lago de Amatitlán, es explotado por personas de la región para obtener agregados para concreto, sobretodo agregado fino. Lo anterior constituye el punto focal del trabajo de graduación que se presenta a continuación, el cual se centra en analizar y caracterizar las propiedades físicas y químicas de la arena del río Michatoya, de manera que se logre determinar si la contaminación en el río incide en las características de la arena.

Para determinar las características de la arena del río Michatoya se aplicaron las normas Coguanor, ASTM y EN, las cuales proporcionan las especificaciones necesarias para determinar la calidad de agregados finos en cuanto a propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas se trata.

En el primer capítulo se presenta una descripción detallada de la geografía y uso del suelo en la cuenca del lago de Amatitlán, información sobre el río Michatoya y aspectos relacionados a la contaminación del lago y del río. Asimismo, en este capítulo se describen generalidades de los agregados como su clasificación, propiedades, sustancias perjudiciales y métodos de ensayo,

presentando una descripción teórica de las normas utilizadas para su realización.

En el siguiente capítulo se describe y localiza el banco en estudio, proporcionando información geológica del lugar. Asimismo, se describen los procedimientos realizados en cada una de las pruebas del desarrollo experimental de esta investigación. En el último capítulo, se tabulan, analizan y comparan los resultados de los ensayos realizados a la arena del río Michatoya con las especificaciones establecidas en las normas utilizadas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La cuenca del lago de Amatitlán

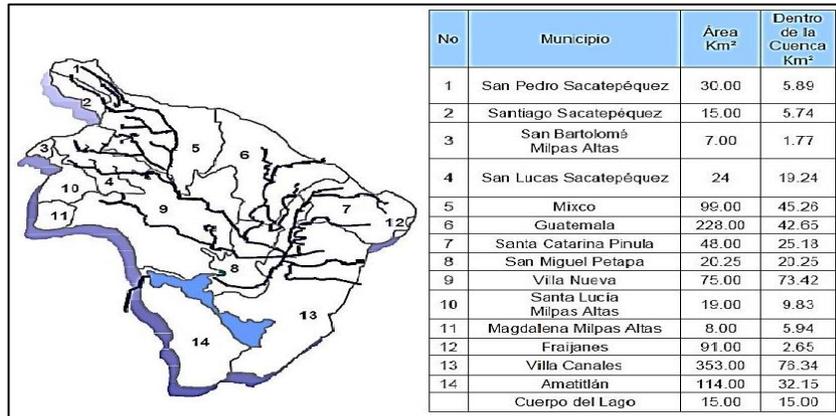
Se encuentra ubicada en el Valle de la Ermita, departamento de Guatemala, situada entre tres sistemas de fallas: Mixco, Pinula y Jalpatagua, formando una fosa tectónica en donde se encuentran asentados la mayoría de los municipios del departamento.

La cuenca tiene una extensión de 381,31 km² y está ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. Asimismo, la cuenca se localiza dentro de las coordenadas 14° 42' a 14° 22' 75" latitud norte y 90° 42' a 90° 16' 86" longitud oeste respecto del Meridiano de Greenwich.

La cuenca limita al Norte con la divisoria continental de aguas (entre la calzada Roosevelt y boulevard Liberación hasta los Arcos en la ciudad de Guatemala) y la cuenca del río Motagua. Al Sur limita con el río Michatoya y parte del río María Linda. Al Este, el límite es con la cuenca del río Los Esclavos; y al Oeste con la cuenca del río Achiguate.

La cuenca del lago de Amatitlán es una subcuenca de la parte alta de la cuenca del río María Linda y está formada por 14 municipios, algunos del departamento de Guatemala: Amatitlán, Villa Nueva, Guatemala, Villa Canales, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, San Pedro Sacatepéquez, Mixco y Fraijanes; y otros del departamento de Sacatepéquez: San Lucas Sacatepéquez, Santiago Sacatepéquez, Magdalena Milpas Altas, Santa Lucía Milpas Altas y San Bartolomé Milpas Altas.

Figura 1. **División política de la cuenca del lago de Amatitlán**



Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán.

De todos los municipios que conforman la cuenca, siete afectan directamente al lago, debido al impacto producido por la degradación de los recursos naturales, por el crecimiento de la población, cambios en el uso del suelo, explotación del suelo, eliminación de las áreas boscosas y crecimiento industrial. Los municipios son: Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán y Guatemala (zonas 11, 12, 13 y 21).

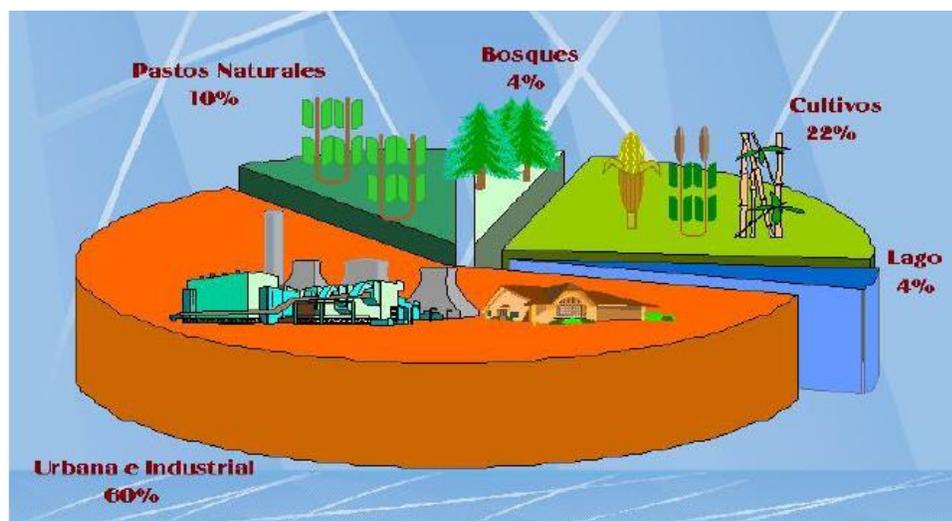
1.1.1. **Uso del suelo en la cuenca del lago de Amatitlán**

A 25 kilómetros del lago de Amatitlán se ubica el área metropolitana de Guatemala, la cual tiene una extensión aproximadamente de 100 km². Esta área es el punto de mayor concentración poblacional y el lugar donde se genera la mayor cantidad de intercambio, gestión y consumo de recursos, por lo que su crecimiento cada vez es más rápido. Sin embargo, debido a las características geomorfológicas de la región, ésta se ha extendido de manera desordenada bajo un control poco eficiente, especialmente hacia áreas del sur y nororiente.

El uso del suelo se modifica constantemente, pasando de áreas de uso agrícola y forestal a áreas urbanas. Debido a la demanda de vivienda, el encarecimiento del suelo en las áreas urbanas es mayor y por tal razón la lotificación se convierte en un negocio rentable. Aunado a ello, la necesidad de obtener servicios dio paso a un proceso de instalación industrial en la zona sur de la ciudad (Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y parte de Amatitlán).

En la cuenca predomina el área correspondiente a procesos de urbanización e industrialización con una extensión de 228,78 km² correspondiente al 60 % del área de la cuenca. El área agrícola comprende una superficie de 83,88 km² o sea el 22 %, el área con pastos naturales es de 38,13 km² que equivalen al 10 %. El área de bosques posee un área de 15,25 km² que constituyen el 4 % y de igual forma el lago de Amatitlán ocupa el 4 %. Las áreas de recarga de acuíferos componen el 36 % de la cuenca, estas son de uso agrícola, bosques y pastos naturales.

Figura 2. **Uso del suelo en la cuenca del lago de Amatitlán**



Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán, 2002.

Dado el crecimiento acelerado de la urbanización, la instalación industrial, actividad agrícola, descargas de aguas servidas sin tratamiento y la deforestación, se ha generado una carga de contaminación a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, convirtiendo al lago de Amatitlán en su punto de concentración, superando su capacidad de amortiguamiento.

1.1.2. El lago de Amatitlán

Se localiza dentro de las coordenadas 14° 30' latitud norte y 90° 30' longitud oeste. Se encuentra a 28 kilómetros de la ciudad capital a una altura de 1 187 metros sobre el nivel del mar. Su área es de 14,98 km². En 2001 se estimaba que el volumen de agua era de 283 890 694,57 m³. Asimismo, el punto más profundo de la parte oeste del lago era de 32,11 metros y el punto más profundo de la parte este del lago era de 25,18 metros. El lago tiene una longitud máxima de 11 kilómetros y un ancho máximo de 3,40 kilómetros.

Figura 3. Lago de Amatitlán



Fuente: ROMERO, Mynor. *Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes*. www.blogincytde.energynewsmagazine.com. Consulta: junio de 2015.

1.1.2.1. Problemas ambientales en el lago de Amatitlán

A través de los años, el lago de Amatitlán se ha transformado en una laguna de estabilización de todos los residuos sólidos y líquidos domésticos, hospitalarios, industriales, agroindustriales y agrícolas, vulnerando la calidad de vida de la población que reside en los alrededores del lago y en las áreas de influencia.

A mediados de la década de los 80, se identificaron 125 núcleos poblacionales y 272 industrias con alta incidencia contaminante. En 1988 se tenían identificadas 341 industrias en el área de influencia del lago (Quiroz, 1995). De acuerdo al estudio de Valoración económica del lago de Amatitlán (1998), solamente un 32 % de las industrias ubicadas en la cuenca realizan un tratamiento de aguas.

“Se estima que diariamente llegan al lago 60 300 m³ de aguas servidas y 1 550 toneladas de sólidos sedimentables”¹ Todos los desechos son producidos principalmente por más de 2 millones de personas y 900 industrias, según estudios realizados por el INE en 2012. Esto, sumado a otros factores que se han mencionado en secciones anteriores ha causado los siguientes impactos:

- Acumulación de compuestos tóxicos por contaminación química, entre ellos metales pesados (plomo, mercurio, cobre y cromo), biosidas (pesticidas y herbicidas), y residuos de combustión.
- Proliferación de agentes patógenos como virus, bacterias, hongos y parásitos, los cuales otorgan al lago un ambiente insalubre.

¹ PAPE YALIBAT, E. & Ixcot, L., 1998.

- Eutrofización del agua, es el impacto más importante desde el punto de vista ecológico, debido a la cantidad de tiempo que se requerirá para recuperar el lago.

Sin embargo, el bajo nivel de educación y conciencia ambiental, la falta de aplicación de las leyes existentes relacionadas con actos en contra del ambiente y los recursos naturales, la inexistencia casi total de control legal y administrativo de los usos del agua, suelo y aire; han contribuido a provocar la crisis ecológica que atraviesa el lago de Amatitlán en la actualidad (Gill, I., 2004).

1.1.2.2. Limnología del lago de Amatitlán

Actualmente, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA) por medio de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de lagos, monitorea periódicamente la calidad del agua, determinando parámetros físicos, químicos y biológicos. Los principales parámetros monitoreados por esta autoridad, utilizados como indicadores de eutrofización en el lago son: nitrógeno, fósforo, clorofila y transparencia.

Los valores de transparencia han variado con el tiempo. Entre el 2007 y 2008 el promedio general de transparencia fue de 0,54 metros de visibilidad. De otros parámetros reportados, la temperatura a través de estos años es aproximadamente de 24 °C. El oxígeno disuelto tiene un promedio general de 6,25 mg/L. Mientras la conductividad tiene un promedio general de 728,64 µmhos/cm.

Debido a la concentración de cloruros, silicatos, nutrientes (nitratos, nitritos y amonio) y fosfatos, junto con la demanda química y bioquímica de oxígeno y

los sólidos suspendidos, se ha podido establecer que el lago se divide en dos secciones física, química y biológicamente diferentes. En el lado Oeste del lago de Amatitlán, donde desemboca el río Villalobos, ingresan volcados industriales, domésticos, agrícolas, hospitalarios, como también aguas subterráneas termales, lo cual provoca altas concentraciones de componentes orgánicos y de metales pesados (plomo, cadmio, zinc, mercurio), fenoles, compuestos de azufre, entre otros.

En la parte Este del lago, la calidad del agua está influenciada por las concentraciones de nutrientes, debido a las aguas mieles y mucilaginosas provenientes de agroindustrias ubicadas en Villa Canales.

1.2. El río Michatoya

El río Michatoya se forma por el desagüe del lago de Amatitlán y desemboca en el río María Linda. El río recorre los municipios de Amatitlán, Palín, Escuintla y Guanagazapa.

1.2.1. Hidrología y ubicación geográfica

La cuenca del río Michatoya es una subcuenca que pertenece a la cuenca del río María Linda. Se encuentra localizada geográficamente entre los límites 14° 16' y 14° 39' latitud Norte y 90° 04' y 90° 42' longitud Oeste respecto al Meridiano de Greenwich. La cuenca tiene una extensión aproximada de 63,53 km², abarcando los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.

Figura 4. **Desagüe del lago de Amatitlán**



Fuente: playa pública del lago de Amatitlán.

1.2.2. Contaminación en el río Michatoya

El estudio de la contaminación del agua del río Michatoya se puede dividir en dos sectores. El primero es dado por la contaminación biológica y que se debe a contaminantes provenientes de materia orgánica, y el otro sector, denominando contaminación química, se debe a compuestos químicos provenientes de desechos domésticos, industriales y agrícolas.

1.2.2.1. Contaminación biológica

Se debe a varios factores: el primero de ellos son los desechos de las aguas servidas que son vertidas directamente sin ningún tratamiento en las aguas del río. La segunda forma de contaminación proviene de todas las

fábricas, casas particulares, granjas avícolas y otros tipos que se localizan a inmediaciones del río y cuyo sistema sanitario generalmente desaguan hacia las aguas superficiales del río.

Sin embargo, el contaminante que posiblemente más impacto ha generado en el río Michatoya proviene de las aguas del lago de Amatitlán, el cual recibe el agua de la cuenca Sur del valle de Guatemala, así como de las poblaciones situadas en las cercanías del lago.

Aunque se ha hecho lo posible por controlar las aguas de desecho de la cuenca Sur de Guatemala, con el fin de reducir la contaminación del lago y para lo cual se han desarrollado varios proyectos de mitigación, pero debido al gran número de conexiones, la cantidad de nutrientes que se desechan van hacia el lago, hacen que actualmente el lago se encuentre en un estado bastante crítico de eutroficación. En la tabla I, se proporcionan datos de algunas características físico-químicas del agua que ingresa al río Michatoya proveniente del lago de Amatitlán.

Por las razones mencionadas, el agua del río Michatoya se encuentra contaminada con materia orgánica.

1.2.2.1. Contaminación química

La contaminación química, sufrida por el agua del río Michatoya, proviene principalmente de los desechos industriales de las fábricas de diversos productos que se han asentado en el lugar. De estas fábricas podría esperarse una contaminación peligrosa para los habitantes de la zona, de aquellos tóxicos de desecho tales como: cromo, plomo, titanio, plaguicidas y por último detergentes.

Tabla I. **Características físico-químicas del agua que desagua el lago de Amatitlán en el río Michatoya**

Año	T	Conductividad	TDS	O ₂ Disuel,	Saturación	pH
	°C	Umhos/cm	mg/L	mg/L	%	U
2008	24,6	746	659	8,4	119,9	8,7
2009	25,1	774	392	9,4	131,3	8,6
2010	25,6	779	390	7,6	105,9	8,5
2011	25,0	706	353	7,2	102,4	8,7
2012	25,3	701	351	10,4	147,1	8,8
2013	25,0	720	361	5,9	96,2	8,7
2014	25,4	675	337	8,1	-	8,2
2015*	23,5	690	351	11,7	-	8,3
Año	DQO	DBO ₅	N _T	P-PO ₄ ⁻³	Clorofila	
	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L	mg/L	mg/m ³	
2008	124	47	7,2	0,36	-	
2009	165	50	3,6	0,47	226,63	
2010	71	31	2,6	7,81	50,09	
2011	162	77	3,1	0,42	125,46	
2012	60	16	2,4	0,35	30,45	
2013	34	14	2,8	0,33	117,19	
2014	-	-	-	-	-	
2015*						

* Datos hasta marzo de 2015

Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán.

1.3. Generalidades de los agregados

Se define al agregado tanto fino como grueso, al material pétreo producto de la desintegración natural de rocas o por trituración de las mismas.

Los agregados deben estar constituidos de partículas con resistencia adecuada, resistencia a condiciones de intemperie y no deben contener

materiales que originen el deterioro del concreto. Es deseable una granulometría continua de los tamaños de las partículas para el uso eficiente de la pasta de cemento y agua.

Cuando no se tienen antecedentes sobre la naturaleza de los agregados o estos serán empleados para otras aplicaciones diferentes de las comunes, se deberán realizar ensayos de identificación por medio de análisis mineralógicos, petrográficos, físicos y químicos, según sea el caso.

1.3.1. Clasificación de los agregados

Los agregados pueden clasificarse por su reactividad, tamaño, origen, densidad y forma.

- Por su reactividad
 - Inertes
 - Activos

- Por su tamaño
 - Finos
 - Gruesos
 -

- Por su origen
 - Naturales
 - Fluviales

- Marinos
 - Eólicos
 - Glaciales
 - Aluviales
- Artificiales
 - Triturados de piedras de cantera
 - Triturados de piedras canto rodado
- Por su densidad
 - Ligeros
 - Normales
 - Pesados
- Por su forma
 - Triturados
 - De canto rodado
 - Mixtos

1.3.2. Definición de agregado fino

Comúnmente llamado arena, es el material que se obtiene de manera natural o de la trituración de rocas, de la escoria volcánica, del concreto reciclado o de una combinación de éstos que pasa por la malla 4,75 mm (tamiz No. 4) y queda retenido en la malla 0,075 mm (tamiz No. 200).

Figura 5. **Agregado fino (arena)**



Fuente: KOSMATKA, Steven H., *et al. Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. p. 103.

1.3.3. Composición mineralógica de los agregados

Los agregados pueden estar formados por la desintegración natural, desgaste o trituración de los siguientes tipos de rocas:

- Ígneas
 - Plutónicas (intrusivas)
 - Granitos
 - Sienitas
 - Dioritas
 - Gabros
 - Volcánicas (extrusivas)
 - Riolitas

- Traquitas
 - Andesitas
 - Basaltos

- Sedimentarias
 - Por acción mecánica
 - Breccias
 - Areniscas
 - Piedras de limo o arcilla

 - Por acción química
 - Calizas y dolomitas
 - Yesos y anhidrita

- Metamórficas
 - Masivas
 - Gneis
 - Esquistos
 - Pizarras

 - Foliadas
 - Mármoles
 - Cuarzitas
 - Serpentinias

1.3.4. Propiedades de los agregados

Se requiere un conocimiento de ciertas características de los agregados (como densidad, granulometría y humedad) para el proporcionamiento de las mezclas de concreto. La densidad, granulometría, forma y textura de la superficie, determinan las propiedades de las mezclas de concreto fresco. Asimismo, la composición mineral de los agregados afecta su resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sanidad que, a su vez, influyen en varias de las propiedades del concreto endurecido que contenga los agregados.

Por lo general, las propiedades de los agregados se analizan en dos partes con relación a los aspectos que afectan:

- Las propiedades de la mezcla
- El comportamiento del concreto fresco y endurecido

Debido a la relación entre estos dos aspectos, es más conveniente dividir las propiedades de los agregados en los siguientes grupos, los cuales se basan en factores de microestructura y de procesamiento:

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

1.3.5. Ensayos para la caracterización física de los agregados finos

La norma para determinar la calidad de los agregados finos es la NTG 41007 (ASTM C-33). Los ensayos más importantes para determinar las características de los agregados finos para concreto se muestran en la tabla II.

Tabla II. Ensayos para la caracterización de los agregados finos

Característica	Significado e importancia	Norma aplicable
Muestreo de agregados	Naturaleza y condición de los materiales	NTG 41009 (ASTM D-75)
Reducción de muestra	Reducción de muestra para pruebas	NTG 41010 h11 (ASTM D-702)
Granulometría	Porcentajes mínimos y máximos que pasan por los tamices estándar	NTG 41010 h1 (ASTM C-136)
Masa unitaria	Determina valores de peso unitario y porcentaje de vacíos	NTG 41010 h2 (ASTM C-29)
Masa específica	Cálculo del volumen que ocupa el agregado en mezclas	NTG 41010 h9 (ASTM C-128)
Absorción y humedad	Cambios en el peso del agregado debido al agua contenida/absorbida por los poros de las partículas	NTG 41010 h9 (ASTM C-128)
Partículas planas y alargadas	Establece características de la forma del agregado	NTG 41010 h12 (ASTM D-4791)
Impurezas orgánicas	Impurezas orgánicas presentes	NTG 41010 h4 (ASTM C-40)
Material fino que pasa el tamiz No. 200	Determina la cantidad de material más fino que no se puede calcular por la prueba ASTM C-136	NTG 41010 h3 (ASTM C-117)
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra cambios de clima (intemperismo)	NTG 41010 h6 (ASTM C-88)
Terrones de arcilla y de partículas friables	Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables	NTG 41010 h10 (ASTM C-142)
Reactividad potencial (método químico)	Determina la reactividad potencial alcali-silíce de los agregados	NTG 41010 h13 (ASTM C-289)

Fuente: MACHUCA Gil, Eduardo. *Evaluación y estudio del efecto en las propiedades físico, mecánicas y químicas derivadas de la interacción álcali-agregado con el cemento Portland puzolánico norma ASTM C-1167, utilizando como agregado la arena procedente de la erupción del volcán de Pacaya.* p. 69.

1.3.5.1. Granulometría del agregado fino, según NTG 41010 h1 (ASTM C-136)

El análisis de tamices proporciona la base para controlar la gradación de los agregados y así verificar el cumplimiento de los requisitos especificados de granulometría. En Guatemala, el procedimiento estándar para realizar el ensayo se describe en la NTG 41010 h1.

La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando los agregados gruesos que se usan son de pequeñas dimensiones, para lograr una buena trabajabilidad, es mejor, que la granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz. Los límites granulométricos dados por la NTG 41010 h1 se muestran en la tabla III.

Tabla III. Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa (en masa)	
	Arena natural	Arena manufacturada
9,5 mm (3/8")	100	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100	85 a 95
1,18 mm (No. 16)	50 a 85	45 a 95
600 µm (No. 30)	25 a 60	25 a 75
300 µm (No. 50)	5 a 30	10 a 35
150 µm (No. 100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: NTG 41010 h1.

Otros requisitos de la NTG 41010 h1 son:

- El agregado fino no debe contener más del 45 % de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.
- El módulo de finura debe ser mayor que 2,3 y menor que 3,1, y no debe variar más de 0,20 respecto al valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se demuestre que las propiedades del agregado fino en consideración son relevantes.

Las cantidades de agregado fino que pasan a través de los tamices 300 μm (No. 50) y de 150 μm (No. 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, contenido de aire y la exudación del concreto.

El módulo de finura es una cantidad proporcional al tamaño promedio de las partículas del agregado fino o grueso; es decir, mientras más grueso sea el agregado, mayor será su módulo de finura. Se calcula sumando los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiendo esta suma dentro de 100. La serie especificada para determinar el módulo de finura es: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8 pulg.), 19,0 mm (3/4 pulg.), 37,5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.).

Cabe mencionar que agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo módulo de finura de agregados finos que normalmente se utiliza para calcular las proporciones de agregados finos y gruesos en el concreto. La degradación del agregado fino decrece el módulo de finura y aumenta la cantidad de materiales más finos que 75 μm (No. 200).

1.3.5.2. Masa unitaria y porcentaje de vacíos del agregado fino, según NTG 41010 h2 (ASTM C-29)

La masa unitaria de un agregado es la masa volumétrica o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia es aquél ocupado por el agregado fino y por los vacíos entre las partículas del agregado.

La masa volumétrica aproximada de los agregados regularmente empleados en el concreto normal varía de 1 200 a 1 750 kg/m³. La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta cemento en el diseño de las mezclas. La cantidad de vacíos en el agregado fino varía de 40 % a 50 %. La angularidad del agregado aumenta la cantidad de vacíos, mientras que la calidad de la granulometría disminuye el contenido de vacíos.

El método para determinar la masa específica del agregado y el contenido de vacíos se encuentra en la NTG 41010 h2. En esta norma se describen tres procedimientos para consolidar el agregado en el recipiente empleado para la prueba, el proceso depende del tamaño máximo del agregado, los procedimientos son: varillado, sacudidas y paleo. La determinación de la masa unitaria del agregado fino solamente puede realizarse por el método de varillado.

1.3.5.3. Masa específica relativa, masa específica, absorción y humedad del agregado fino, según NTG 41010 h9 (ASTM C-128)

La masa específica relativa o gravedad específica de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Por lo general, se usa en ciertos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla de concreto, por ejemplo, el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. La masa unitaria relativa no suele ser utilizada como una medida de la calidad del agregado, no obstante algunos agregados porosos que presentan deterioro acelerado debido a congelación-deshielo muestran baja gravedad específica. Normalmente la mayoría de los agregados naturales tienen masas específicas que varían desde 2,4 hasta 2,9.

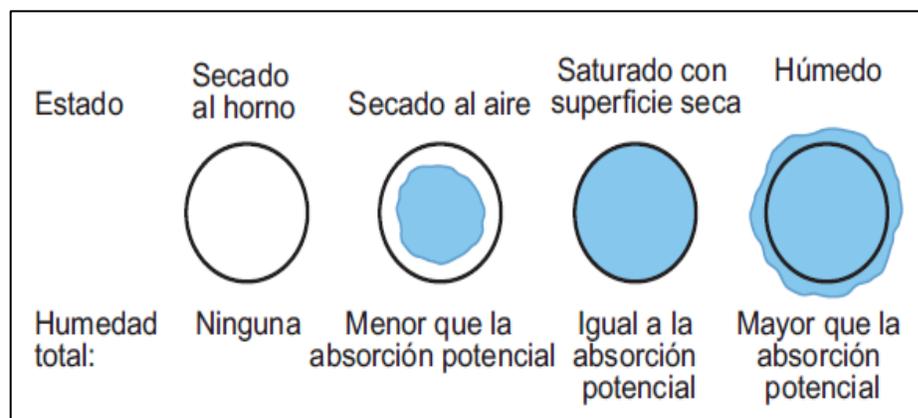
Los métodos de prueba para determinar la masa específica en los agregados finos se describen en la NTG 41010 h9. Esta característica puede determinarse en condición seca al horno o saturada de superficie seca. Ambos resultados se pueden usar en los cálculos del proporcionamiento del concreto. Los agregados secados al horno no contienen agua absorbida ni agua libre, se secan al horno hasta lograr masa constante. Los agregados saturados de superficie seca tienen los poros de sus partículas llenos de agua, pero en la superficie de las partículas no hay exceso de agua.

Otra característica física de los agregados finos es la masa específica (densidad) de las partículas. Esta propiedad se usa en algunos cálculos de proporcionamiento y no se toman en cuenta los vacíos entre partículas. Para determinar la densidad de las partículas la norma establece dos procedimientos: el método gravimétrico y volumétrico.

La absorción y la humedad del agregado fino se deben determinar de acuerdo a las especificaciones de la norma antes mencionada. Determinar estos parámetros permite controlar el agua total del concreto y determinar las cantidades correctas de los materiales para la mezcla. El interior de una partícula de agregado está compuesto por materia sólida y por vacíos que no precisamente contienen agua. Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la figura 6 y se definen de la siguiente manera:

- Seca al horno: totalmente absorbente.
- Seca al aire: la superficie de las partículas está seca, pero en su interior hay humedad, por consiguiente, aún es ligeramente absorbente.
- Saturado de superficie seca (SSS): no absorben ni conceden agua al concreto.
- Húmeda: contiene un exceso de humedad en su superficie (agua libre).

Figura 6. **Condiciones de humedad de los agregados**



Fuente: KOSMATKA, Steven H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 116.

Abundamiento (hinchamiento, abultamiento). Es el aumento del volumen total del agregado fino húmedo con relación a la propia masa seca. La tensión superficial en el agua conserva separadas a las partículas generando un aumento de volumen. El abundamiento de los agregados finos sucede cuando éstos se manipulan o se transportan en condiciones de humedad, aunque previamente hayan sido consolidados por completo.

1.3.5.4. Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, según NTG 41010 h6 (ASTM C-88)

La resistencia a la congelación de los agregados es una propiedad importante para el concreto que se aplique en exteriores. Esta propiedad se relaciona con la porosidad, absorción, permeabilidad y estructura de los poros de los agregados. Una partícula de agregado puede absorber tanta agua hasta saturarse críticamente y no poder soportar la expansión y la presión hidráulica que resultan del congelamiento del agua. Con un suficiente número de partículas afectadas, el agregado puede expandirse y por consiguiente producir una posible desintegración del concreto. Si solamente una partícula cercana a la superficie del concreto es la afectada, puede ocurrir una erupción.

La resistencia a la intemperie se demuestra a través de pruebas de laboratorio, empleando sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Las especificaciones están dadas en la NTG 41010 h6.

Básicamente, la prueba consiste en un número de ciclos de inmersiones del agregado en una solución de sulfato, ya que la presión interna que se crea con el crecimiento de los cristales de sal en los poros de los agregados simula

la presión que se genera por el congelamiento del agua. Posteriormente, la muestra se seca en el horno y se calcula el porcentaje de pérdida de masa.

Sin embargo, este ensayo en algunas ocasiones suele ser poco confiable. Los agregados que responden adecuadamente a la prueba pueden producir concretos de baja resistencia a congelación-deshielo, aunque agregados que se comportan insatisfactoriamente pueden producir concretos de resistencia adecuada. Este fenómeno en parte, se debe a que los agregados no están confinados por la pasta de cemento (en el concreto si lo estarían) y las formas de ataque de congelación-deshielo no son las mismas. Por ello, es más recomendable realizar la prueba para rocas estratificadas, con capas porosas o planos de estratificación.

1.3.6. Sustancias perjudiciales en los agregados

Existen tres categorías de sustancias perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados: impurezas, las cuales interfieren en el proceso de hidratación del cemento; recubrimientos, éstos impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento; y partículas individuales que pueden ser débiles o inestables. Sin embargo, un agregado puede ser también total o parcialmente dañino, debido al desarrollo de reacciones químicas entre el agregado y la pasta de cemento. Estas reacciones químicas se explican en la sección de reacciones químicas de los agregados. En la tabla IV se listan sustancias perjudiciales cuya presencia está permitida en el agregado fino, consideradas por la NTG 41007.

Tabla IV. **Límites para las sustancias perjudiciales en el agregado fino para concreto**

Ítem	Porcentaje en masa de la muestra total, máximo	
	Arena natural	Arena manufacturada
Terrones de arcilla y partículas friables de arcilla	3,0	3,0
Material más fino que el 75 µm (No. 200)		
Concreto sujeto a abrasión	3,0 ^A	5,0 ^B
Cualquier otro concreto	5,0 ^A	7,0 ^B
Material de baja densidad (densidad relativa menor a 2,0)		
La apariencia del concreto tiene importancia	0,5	0,5
Para cualquier otro concreto	1,0	1,0
^A En caso que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (75 µm [No. 200]). Estos límites podrán elevarse a 5 y 7 % respectivamente.		
^B En caso que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (< 75 µm [No. 200]) y la estructura no esté sometida a abrasión severa. Estos límites podrán elevarse a 8 y 15 % respectivamente.		

Fuente: NTG 41007.

1.3.6.1. Impurezas orgánicas

Los agregados naturales pueden poseer buenas propiedades para soportar el desgaste, pero no garantizarán durabilidad en el concreto si contienen impurezas orgánicas que interfieran en las reacciones químicas de hidratación del cemento. La materia orgánica que se encuentra en los agregados normalmente consiste en residuos de la descomposición de materia

vegetal (especialmente ácido tánico y sus derivados) y se halla principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. Es más probable encontrar esta clase de sustancias en el agregado fino que en el grueso.

No todas las materias orgánicas son perjudiciales, por tal razón lo conveniente sería verificar los efectos que producen mediante pruebas de laboratorio. Generalmente lo más recomendable es determinar si la cantidad de compuestos orgánicos es suficiente como para realizar pruebas futuras al agregado. Esto se logra a través de la prueba del colorímetro especificada en la NTG 41010 h4 (ASTM C-40) la cual se explica brevemente en la sección de ensayos para sustancias perjudiciales en agregados.

1.3.6.2. Recubrimientos

La arcilla puede presentarse en el agregado en forma de recubrimientos superficiales que interfieren en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Hacer concreto precisa una buena adherencia para alcanzar una resistencia satisfactoria y buena durabilidad del mismo, por ello los recubrimientos de arcilla resultan ser un problema a considerar en ciertos casos.

Otros dos tipos de material fino que pueden estar en los agregados son el limo y el polvo de trituración. El limo es un material entre 0,002 mm y 0,06 mm de tamaño, que ha sido reducido debido a los procesos naturales de la intemperie, es común hallarlo en agregados extraídos de depósitos naturales. Por otro lado, el polvo de trituración es un material fino, producto del proceso de transformación de la roca en piedra triturada o de grava en arena triturada.

La mayoría de recubrimientos (blandos y polvo de trituración) pueden eliminarse durante el procesamiento del agregado o mediante lavados. Los recubrimientos con buena adherencia que no pueden suprimirse así, pero si químicamente son estables y no tienen efectos perjudiciales, su utilización no debe objetarse.

1.3.6.3. Partículas inestables

Existen dos clases amplias de partículas inestables: las que no mantienen su integridad y las que experimentan expansión destructiva sometida a congelación o se mantienen en contacto con el agua. Por efectos de estudio solo se consideraran algunas impurezas que no son durables.

La pizarra y otras partículas de baja densidad se consideran inestables, y lo mismo sucede con inclusiones blandas, como terrones de arcilla, madera y carbón, pues provocan picaduras y descascaramientos. Estas partículas en cantidades superiores del 2 % al 5 % del peso del agregado pueden afectar adversamente la resistencia del concreto, por lo que su presencia en concretos expuestos a la abrasión es indebida.

Debe evitarse la mica, porque en la presencia de agentes químicamente activos producidos durante la hidratación del cemento ésta puede sufrir alteraciones de forma. Además, la mica libre en el agregado fino, incluso en pequeños porcentajes del peso del agregado, afecta adversamente la cantidad de agua y en efecto la resistencia del concreto.

1.3.7. Ensayos para sustancias perjudiciales en agregados

Los métodos de prueba de laboratorio de las sustancias perjudiciales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla V. Ensayos para sustancias perjudiciales en agregados

Sustancia	Efecto en el concreto	Normas aplicables
Impurezas orgánicas	Afecta el tiempo de fraguado y el endurecimiento, puede causar deterioro	NTG 41010 h4 (ASTM C-40)
Material que pasa el tamiz No. 200	Afecta la adherencia, incrementa la cantidad de agua	NTG 41010 h3 (ASTM C-117)
Partículas livianas	Afecta la durabilidad, puede producir manchas y erupciones	NTG 41010 h7 (ASTM C-123)
Partículas blandas	Afecta la durabilidad	ASTM C-235
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la durabilidad, puede producir erupciones	NTG 41010 h10 (ASTM C-142)
Agregados reactivos con álcalis	Produce expansión anormal ("viboritas", acocodrilamiento, piel de cocodrilo). Fisuración en forma de mapa.	ASTM C-227 NTG 41010 h13 (ASTM C-289) ASTM C-342, ASTM C-295 NTG 41010 h14 (ASTM C-1260) NTG 41010 h16 (ASTM C-1293)

Fuente: KOSMATKA, Steve H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 120.

1.3.7.1. Impurezas orgánicas, según NTG 41010 h4 (ASTM C-40)

Algunos tipos de materia orgánica presentes en la arena, aún en cantidades menores al 1 %, pueden retardar o impedir el endurecimiento del concreto y reducir considerablemente su resistencia.

Un ensayo de comparación de color, para determinar la presencia y cantidad aproximada de materia orgánica, se detalla en la NTG 41010 h4 (ASTM C-40). La muestra que se emplea para el ensayo deberá estar, de preferencia, levemente húmeda; un exceso de humedad en la superficie de las partículas debilita la solución de ensayo, pero si el agregado se seca, éste puede perder algo de materia orgánica durante el manejo, o durante el proceso de secado.

La muestra se sumerge en una solución al 3 % (por peso) de soda cáustica en un frasco de vidrio incoloro. Este se agita y luego se deja en reposo durante 24 horas. Posteriormente, se observa el color del líquido que emerge y se compara con una solución estándar preparada de acuerdo a las especificaciones de la norma. Si el líquido del frasco es incoloro o de color más claro que la solución de color estándar, la arena está libre de materia orgánica. En cambio, si el líquido es de un color más oscuro que la solución estándar, significa que la arena contiene impurezas orgánicas, entonces puede que se requieran pruebas de comparación de resistencia entre morteros (ASTM C-87).

Partículas como la de carbón o lignito, presentes en la arena, pueden ocasionar colores oscuros en el ensayo del colorímetro, aunque su uso suele ser permitido en los agregados finos mientras no se excedan los límites admisibles establecidos en la tabla IV.

1.3.7.2. Material que pasa el tamiz No. 200, según NTG 41010 h3

El material muy fino (arcilla, limo, polvo de trituración o marga) que se muestra en la mayoría de los agregados, demanda grandes cantidades de agua

de amasado y aflora la superficie del concreto, produciendo su agrietamiento por la contracción de fraguado que se da durante el proceso de secado.

Como se indicó, si los finos se adhieren a partículas de mayor tamaño, éstas tienden a interferir en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Por tal razón, las especificaciones limitan la cantidad del material fino a un pequeño porcentaje.

El ensayo para determinar el porcentaje de finos en el agregado se describe en la NTG 41010 h3. Una muestra del material fino se tamiza por vía húmeda, secada al horno y pesada previamente. El agregado en exceso se seca nuevamente al horno y se pesa para determinar la cantidad de finos que fue removida.

1.3.7.3. Terrones de arcilla y partículas desmenuzables, según NTG 41010 h10 (ASTM C-142)

El método empleado para determinar la cantidad de terrones de arcilla o de partículas desmenuzables se describe en la NTG 41010 h10. Este método utiliza el material sobrante del ensayo de acuerdo al método descrito por la NTG 41010 h3 (ASTM C-117). El material debe ser retenido en el tamiz 1,18 mm (No. 16) y su masa debe ser no menor de 25 g.

En el caso de agregado fino, el material se seca, se satura en agua destilada durante 24 horas, y más tarde, las partículas friables se desmenuzan apretándolas con los dedos índice y pulgar. Después de que todos los terrenos de arcilla y partículas friables hayan sido rotos, se separan los restos de las partículas de la muestra de la prueba mediante un tamizado húmedo.

El tamizado en húmedo se realiza pasando agua sobre la muestra y a través del tamiz, al mismo tiempo este se agita manualmente hasta que todo el material fino sea removido. Posteriormente, las partículas retenidas en el tamiz se remueven y se secan al horno hasta tener masa constante, luego, se dejan enfriar y se determina su masa.

1.4. Reacciones químicas de los agregados

Las reacciones químicas de los agregados pueden afectar el comportamiento de las estructuras de concreto. Algunas reacciones son favorables; otras pueden causar serios daños al concreto, provocando expansiones internas anormales que pueden producir fisuras, desplazamientos de elementos que forman parte de estructuras mayores y pérdida de resistencia.

1.4.1. Reacción álcali-agregado

Existen otros tipos de reacciones que suelen causar expansiones dentro de la masa del concreto endurecido, las cuales inducen esfuerzos de tensión que podrían hacer fallar la integridad estructural, dado que la resistencia a tensión del concreto es aproximadamente un 10 % de su resistencia a compresión.

La reacción más frecuente se produce entre óxidos (inestables) de silicio (SiO_2) y los hidróxidos alcalinos de la pasta de cemento (Na_2O y K_2O). Esta reacción, además de ser de tipo sólido-líquido, produce un gel de tipo hinchable que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, con lo cual surgen presiones internas en el concreto que llevan a una expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento. Esto es lo que se conoce como reacción álcali-

sílice (RAS), pues también existe otra reacción parecida entre algunos tipos de caliza dolomítica y los álcalis del cemento conocida como reacción álcali-carbonato (RAC), aunque es menos frecuente que la RAS.

También cabe mencionar que los agregados pueden reaccionar con los álcalis de cemento, por lo que debe hacerse un examen cuando se sospeche que los agregados contienen sílice inestable (en estado vítreo, criptocristalino, microcristalino y amorfo).

Si bien es posible predecir con cuáles materiales se producirá una reacción álcali-agregado (RAA), por lo general no es posible estimar los efectos perjudiciales a partir del conocimiento de las cantidades de los materiales reactivos.

Dado que la cantidad de álcalis depende solamente del cemento, su concentración en la superficie reactiva del agregado dependerá del tamaño de ésta. El contenido mínimo de álcalis del cemento con el cual puede haber una reacción expansiva es de 0,6 % expresado en óxido de sodio. Este porcentaje se calcula mediante estequiometría, como el contenido real de Na_2O más 0,658 por el contenido de K_2O del clinker.

Otros factores que influyen en el desarrollo de la RAA, son la presencia de agua no evaporable en la pasta y la permeabilidad de esta. La humedad es necesaria y la reacción se acelera en condiciones de humedad y secado sucesivas. La temperatura acelera la reacción, al menos en un rango entre los 10 y 30 °C. Por consiguiente, puede notarse que el problema de la reacción álcali-agregado es sumamente complejo, pues intervienen diversos factores químicos y físicos.

Por lo tanto, aún cuando se sabe que ciertas clases de agregado tienden a ser reactivos, no sorprende que no exista ningún procedimiento simple para determinar si un agregado en especial promoverá una expansión excesiva debido a la reacción con los álcalis del cemento. Frecuentemente, suele basarse en registros de servicio, pero si no se tienen registros, tan solo se puede determinar la reactividad potencial del agregado, sin examinar los efectos que una reacción causará.

Figura 7. **Fisuración del concreto debido a la reacción álcali-agregado**



Fuente: KOSMATKA, Steve H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 121.

1.4.2. Reactividad álcali-sílice (RAS)

Esta reacción implica reacciones químicas entre los agregados reactivos y los álcalis contenidos en el concreto, los cuales generan un aumento en el volumen, causando la disminución de la vida útil de las estructuras dañadas.

1.4.2.1. Condiciones que intervienen en la RAS

Para que se presente una reacción álcali-sílice deben ocurrir un conjunto de condiciones favorables para causar la reacción, estas condiciones son:

- Tiempo
- Contenido de álcalis del cemento
- Finura del cemento
- Reactividad de sílice en el agregado
- Factores externos: humedad y temperatura
- Elementos relacionados al concreto como: dosificación, permeabilidad, pH, efecto de las armaduras y relación agua-cemento.

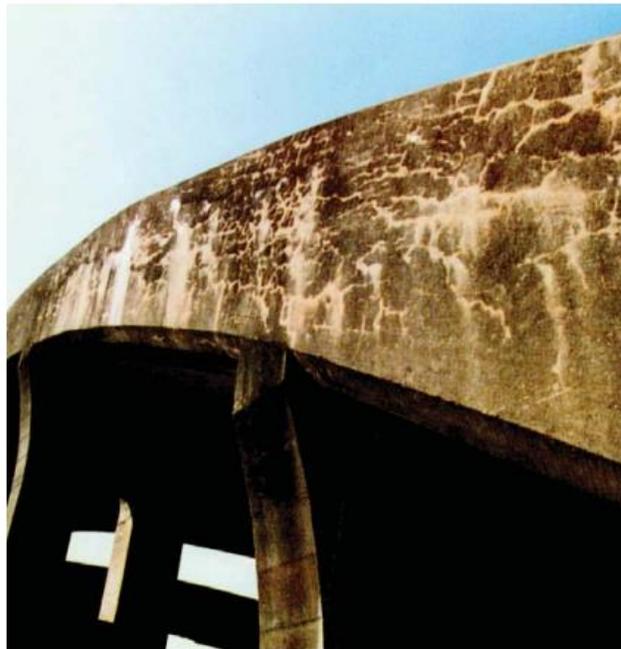
1.4.2.2. Manifestaciones visuales de una reacción álcali-sílice

Los indicadores de RAS pueden ser:

- **Expansión:** es el agrietamiento en forma de mapa y en casos más avanzados dislocaciones estrechas, astilladuras en la superficie de concreto o desplazamientos relativos de diferentes fracciones de la estructura.
- **Agrietamiento:** cuando el concreto es afectado por la RAS, éste presenta una red de fisuras que aparecen en su superficie.
- **Eflorescencia:** los depósitos de gel de RAS se pueden observar a lo largo de las grietas en el concreto, dejando un depósito en la superficie cambiando de un color blanco hasta ser oscuro. A estos depósitos se les

conoce como eflorescencia (ver figura 8). El examen petrográfico es el método más eficaz para identificar el gel de la RAS en el concreto. La petrografía se usa para estudiar una reacción conocida, de manera que se confirme la presencia de productos reactivos y verificar la RAS como la causa principal del daño.

Figura 8. **Gel de RAS y agrietamiento**



Fuente: STARK, D. *Manual para la identificación de la Reactividad Alkali-Sílice en estructuras de Carreteras*. p. 30.

- Erupciones: producto del estallido de un fragmento de la superficie del concreto, resultando en un agujero de tamaño variable, pero que por lo general varía entre 25 a 50 mm. Las erupciones originadas por el agregado fino son de menor tamaño que las causadas por agregado grueso (ver figura 9).

Figura 9. **Erupción causada por RAS de la arena**



Fuente: KOSMATKA, Steve H., et al. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. p. 122.

- Cambio de color: la decoloración de la superficie usualmente se observa junto con el agrietamiento. Las superficies a lo largo de las grietas pueden ser de color blanco, rosa o café claro. Estas se extienden algunos milímetros desde la grieta.

Dado que el deterioro de la RAS es lento, la probabilidad de que haya una falla catastrófica es bajo. La RAS puede causar problemas de funcionalidad o utilización, y puede hacer que el deterioro de otros mecanismos empeore, como aquellos que se originan por la expansión debida a congelación-deshielo y a sulfatos. Un ejemplo claro se observa en los pavimentos, específicamente en la ondulación y rotura que ocurre en las losas debido a presión de hinchamiento y saltaduras del concreto. En una estructura con armaduras las fisuras son paralelas a ellas.

Tabla VI. **Métodos de ensayo para la reactividad álcali-sílice**

Prueba	Objetivo	Norma aplicable
Reactividad potencial alcalina de cemento-agregado (método barra de mortero)	Ensayar la susceptibilidad de las combinaciones cemento-agregado a las reacciones expansivas incluyendo álcalis	ASTM C-227
Reactividad potencial álcali-sílice de los agregados (método químico)	Determinar el potencial de reactividad de los agregados silíceos	NTG 41010 h13 (ASTM C-289)
Cambio de volumen potencial de combinaciones cemento-agregado	Determinar el potencial de la expansión por RAS de combinaciones cemento - agregado	ASTM C-342
Reactividad potencial a álcalis de agregados (método de la barra de mortero)	Ensayar el potencial de la reacción álcali-sílice deletérea de agregados en barras de mortero	NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)
Cambio de longitud debido a la reacción álcali-sílice (ensayo del prisma de concreto)	Determinar el potencial de la expansión por RAS de combinaciones cemento-agregado	ASTM C-1293
Reactividad álcali-sílice de combinaciones de materiales de cemento y agregados (método acelerado de barra de mortero)	Ensayar el potencial de la reacción álcali-sílice de los materiales de cemento y las combinaciones de agregados en barras de mortero	NTG 41010 h15 (ASTM C-1567)
Examen petrográfico de agregados para concreto	Presentar un perfil de los procedimientos de examen petrográfico de agregados	ASTM C-295

Fuente: KOSMATKA, Steven H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 123-125.

1.4.3. Identificación de un agregado potencialmente reactivo

Los registros de servicio en campo, usualmente proporcionan la mejor información para seleccionar agregados. Si no se cuenta con información sobre algún agregado y se sospecha que este es potencialmente reactivo, se deben realizar pruebas de laboratorio para confirmar los resultados.

Tabla VII. **Minerales reactivos potencialmente perjudiciales y materiales sintéticos**

Sustancias reactivas álcali-sílice		Sustancias reactivas álcali-carbonato
Andesitas	Esquistos	Calizas dolomíticas
Argilitas	Filitas	Dolomitas calcílicas
Calcedonia	Gneis granítico Grauvacas	Dolomitas finamente graduadas
Cherts	Ópalo	
Cherts caldedónicos	Material volcánico vitrificado	
Ciertas calizas sílices y dolomitas	Metagrauvacas	
Cristobalita	Pizarras opalinas	
Cuarcitas	Pizarras silíceas	
Cuarzo	Riolitas	
Cuarzosas	Vidrio silicio natural y sintético	
Dacita	Tridimita	

Fuente: KOSMATKA, Steven H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 120.

1.4.4. Materiales y métodos para el control de la RAS

La forma más eficiente para controlar la expansión causada por la RAS es con el diseño de mezclas especiales, preferiblemente usando materiales disponibles localmente. Las opciones que se detallan a continuación no se listan en orden de importancia y, aunque normalmente no son necesarias, pueden utilizarse en combinaciones de una con la otra.

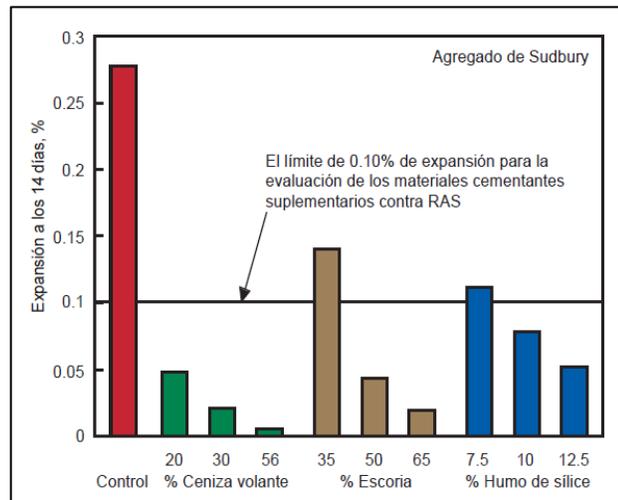
En la actualidad, las prácticas incluyen el uso de materiales cementantes suplementarios o cementos adicionados que, comprobado a través de ensayos, controlan o limitan el contenido de álcalis en el concreto. Los materiales

cementantes suplementarios pueden ser ceniza volante, escoria granulada de alto horno, humo de sílice y puzolanas naturales. Los cementos mezclados usan escoria, ceniza volante, humo de sílice y puzolanas naturales para controlar la RAS. El cemento con bajo contenido de álcalis, inferior a 0,60 % (óxido de sodio equivalente) puede ser utilizado para controlar la RAS.

El uso de este cemento ha sido sucedido con agregados ligera o medianamente reactivos. Sin embargo, los cementos con bajo contenido de álcalis no están disponibles en todas las regiones. Por consiguiente, es preferible utilizar los cementos disponibles localmente combinados con puzolanas, escorias o cementos adicionados para controlar la RAS. Si se usan estas adiciones para controlar la RAS, su eficacia se determina a través de pruebas como la NTG 41010 h 14 (ASTM C-1260 modificado).

Cuando es aplicable, se deben ensayar diferentes cantidades de puzolanas o escorias para determinar la dosis ideal. Por lo general, la expansión disminuye con el aumento de la dosis de puzolana o escoria (ver figura 10).

Figura 10. **Influencia en la expansión de la barra de mortero (ASTM C-1260) de diferentes cantidades de ceniza volante, escoria y humo de sílice con relación a la masa de material cementante después de 14 días, al usarse agregado reactivo**



Fuente: KOSMATKA, Steven H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 126.

1.4.5. Ensayos para determinar la reacción álcali-sílice

Dentro de los métodos de prueba para determinar la reactividad álcali-sílice en los agregados, se encuentran los siguientes:

1.4.5.1. Examen petrográfico de los agregados para concreto, según Norma ASTM C-295

La norma describe los procedimientos para realizar los exámenes petrográficos de muestras representativas de materiales, sugeridos para usarse como agregados en mezclas de concreto o como materia prima para la producción de dichos agregados.

Los exámenes petrográficos se realizan para los siguientes propósitos:

- Determinar las características físicas y químicas de los materiales que se pueden observar mediante métodos petrográficos y que incurren en el rendimiento del material.
- Describir y clasificar los componentes de la muestra.
- Determinar las cantidades relativas de los componentes de la muestra que son esenciales para la evaluación de la muestra cuando los componentes difieren significativamente en propiedades que tiene relación con el rendimiento del material.
- Comparar muestras de agregados de nuevas fuentes con muestras de agregados de una o varias fuentes, para disponer de más registros de rendimiento.

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico, dependen del uso que se le pretenda dar al agregado. En ocasiones la petrografía no es suficiente para hacer el estudio, por lo que es necesario completarlo con procedimientos como la difracción de rayos X. Determinar los componentes no es el objetivo primordial del análisis petrográfico, pero sí permite hacer conclusiones a nivel práctico. El objetivo más importante del estudio de petrografía es determinar si en el agregado hay componentes que puedan afectar su comportamiento en una aplicación específica. La Norma ASTM C-294 proporciona los nombres de rocas y minerales para identificar los agregados y sus constituyentes determinados en este ensayo.

A continuación se describen los lineamientos para realizar un análisis petrográfico de los agregados para concreto.

1.4.5.1.1. Toma de muestras

La toma de muestras la debe realizar un experto que conozca los requisitos para muestreo aleatorio de agregados para concreto, considerando la localización, geología y otros datos importantes del sitio del que se obtuvo la muestra.

Las canteras no desarrolladas se muestrean mediante núcleos perforados a través de toda la profundidad que se desea explotar, la perforación se hace perpendicularmente a la característica estructural dominante de las rocas. Las rocas masivas se muestrean con núcleos de 53 mm de diámetro y las estratificaciones delgadas o materiales complejos se muestrean con núcleos no menores de 100 mm de diámetro. Se deberá hacer un número adecuado de perforaciones para cubrir los límites de los depósitos propuestos para el proyecto.

Para canteras de gravas y arenas en operación, las muestras deben ser no menores de 45 kilogramos o 300 piezas de las más grandes de cada tamaño de material.

Para afloramientos de canteras no productoras, donde no se dispone de apilamientos de material, las muestras no deben pesar menos de 2 kg por estrato, con piezas no menores de 0,5 kg o por núcleo perforado como se describió anteriormente.

Los depósitos de arenas y gravas no desarrollados deben muestrearse mediante pruebas en trincheras excavadas a mano.

Las muestras de las cantidades de material serán no menores a las indicadas en la tabla VIII, imperando la representatividad de los depósitos al momento de tomarlas.

Tabla VIII. **Cantidades de material para el análisis petrográfico**

Abertura de tamiz	Cantidad		
	kg	lb	piezas
Mayores de 150 mm (6")	-	-	*
75 a 150 mm (3" a 6")	-	-	300
37,5 a 75 mm (1 1/2" a 3")	180	400	-
19 a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	90	200	-
4,75 a 19 mm (No. 4 a 3/4")	45	100	-
Menores de 4,75 mm (No. 4) **	23	50	-

Fuente: Norma ASTM C-295.

1.4.5.1.2. Selección de las muestras

Las muestras se tamizan en seco para obtener muestras por cada tamiz. Para las arenas, se toma una porción adicional para ensayarla con lavado de agua, para tamizarla y removerla por secado, para proveer una muestra de material que pasa por el tamiz No. 200.

Los resultados de cada muestra del análisis de tamices deben adjuntarse al examen petrográfico. Cada porción tamizada se examinará por separado, el

análisis se empieza con la muestra de mayor tamaño para facilitar su identificación. En algunos casos puede requerirse el uso del microscopio estereoscópico o petrográfico para facilitar la identificación de pequeñas partículas.

Para disminuir las partículas de cada porción tamizada se hacen cuarteos hasta tener un mínimo de 150 partículas; del número de partículas depende el grado de precisión requerido. El grado de precisión se contará al iniciar con el examen, luego se identifican las partículas y se cuentan de nuevo.

1.4.5.1.3. Exámenes de la grava natural

Se realizan exámenes a las gravas para establecer si manifiestan revestimiento externo, de existir, el siguiente paso es determinar si este revestimiento consiste en materiales potencialmente dañinos para el concreto y la firmeza del mismo. Si cada porción tamizada se clasifica fácilmente, dentro de los tipos de rocas, a través de un examen visual, rayado y prueba de ácido, es posible omitir el resto de identificaciones. Las rocas de grano fino que no pueden identificarse macroscópicamente y que probablemente contengan componentes dañinos para el concreto, se examinarán por medio de microscopía petrográfica.

Las características físicas más importantes de la grava natural que deben describirse son:

- Forma de las partículas
- Superficie de la partícula (textura)
- Tamaño del grano
- Estructura interna, porosidad, cementación de los granos

- Color
- Composición mineralógica
- Heterogeneidad (significativa)
- Condición física general del tipo de rocas de la muestra
- Revestimiento (incrustaciones)
- Presencia de componentes reactivos dañinos en el concreto

1.4.5.1.4. Exámenes de la arena natural

Los exámenes para la arena natural son parecidos a los de las gravas, pero con la diferencia que se necesita usar el microscopio estereoscópico, el disco de Petri, pinzas y una aguja de disección.

Las partículas más finas que 600 μm (tamiz No. 30) se reducen por cuarteo a un peso aproximado de 4 o 5 gramos, por lo general el volumen será menor que una cucharadita rasa, teniendo en cuenta que el número de partículas no debe ser menor de 150. Se puede hacer el examen como el de partículas superiores al 600 μm (tamiz No. 30) y de ser posible, apoyarse con el microscopio petrográfico.

1.4.5.1.5. Cálculos

Se calcula la composición de cada porción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderado de toda la siguiente manera: la composición de cada porción retenida en los tamices se expresa por la suma del número total de partículas de la porción contada y calculando cada componente en cada condición como un porcentaje de la cantidad total.

El porcentaje de peso de la porción retenida en cada tamiz de la muestra completa (porcentajes individuales retenidos sobre tamices consecutivos) se calcula multiplicando los porcentajes de los componentes en la porción tamizada (descrita anteriormente) por los porcentajes de la porción tamizada de la muestra completa.

1.4.5.1.6. Informes

El informe debe incluir los procedimientos utilizados en la prueba y una descripción de la naturaleza y de las características de cada componente importante de la muestra, adjuntando tablas y fotografías según sea el caso. Los hallazgos y conclusiones deben expresarse de forma clara y concisa.

El reporte del examen petrográfico debe contener:

- Datos para identificar la muestra
- Fuente
- Objetivo de uso
- Descripción proporcionando la composición y propiedades del material

Cuando en una muestra se han encontrado propiedades o componentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, estos deben describirse cualitativamente.

Se deben mencionar los efectos desfavorables que se espera que ocurran cuantitativamente, así como también incluir recomendaciones considerando exámenes petrográficos adicionales, ensayos químicos o físicos, o investigaciones geológicas que sean necesarias para evaluar las propiedades dañinas que fueron indicadas en el examen petrográfico.

1.4.5.2. Reactividad potencial álcali-sílice en los agregados (método químico), según NTG 41010 h14 (ASTM C-289)

Este método cubre la determinación química de la reactividad potencial de un agregado con los álcalis en concreto con base de cemento Portland. Con relación a la cantidad de reacción que se da durante 24 horas a 80 °C, en una solución 1 N de hidróxido de sodio y un agregado que ha sido triturado y tamizado, de manera que pase por la malla de 300 µm (No. 50) y quede retenido en la malla de 150 µm (No. 100).

Este método puede ser utilizado como parámetro de control de calidad para comprobar regularmente las muestras de una fuente de agregados que tenga un historial de servicios aceptable.

1.4.5.2.1. Procedimiento

Pesar tres porciones representativas de $25 \pm 0,05$ g de la muestra seca comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y por medio de una pipeta agregar 25 cm^3 de hidróxido de sodio (NaOH). En un cuarto recipiente, con una pipeta agregar 25 cm^3 de la misma solución (NaOH) para utilizarla como solución blanca. Luego agitar suavemente los envases para liberar el aire atrapado y sellarlos.

Inmediatamente después de sellar los envases, colocarlos en un baño que se mantiene a una temperatura constante de 80 ± 1 °C. Después de $24 \pm \frac{1}{4}$ horas se sacan los envases del baño y se enfrían por $15 \pm$ min, bajo un chorro de agua a una temperatura menor de 30 °C. Inmediatamente después de enfriar los recipientes, se filtra la solución del residuo del agregado.

Una vez se ha completado la filtración, agitar el filtrado para proporcionar homogeneidad y luego, con un pipeta se toma una alícuota de 10 cm³ del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm³ en un frasco volumétrico. Conservar esta solución diluida para determinar la sílice disuelta y la reducción de alcalinidad, de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por la norma.

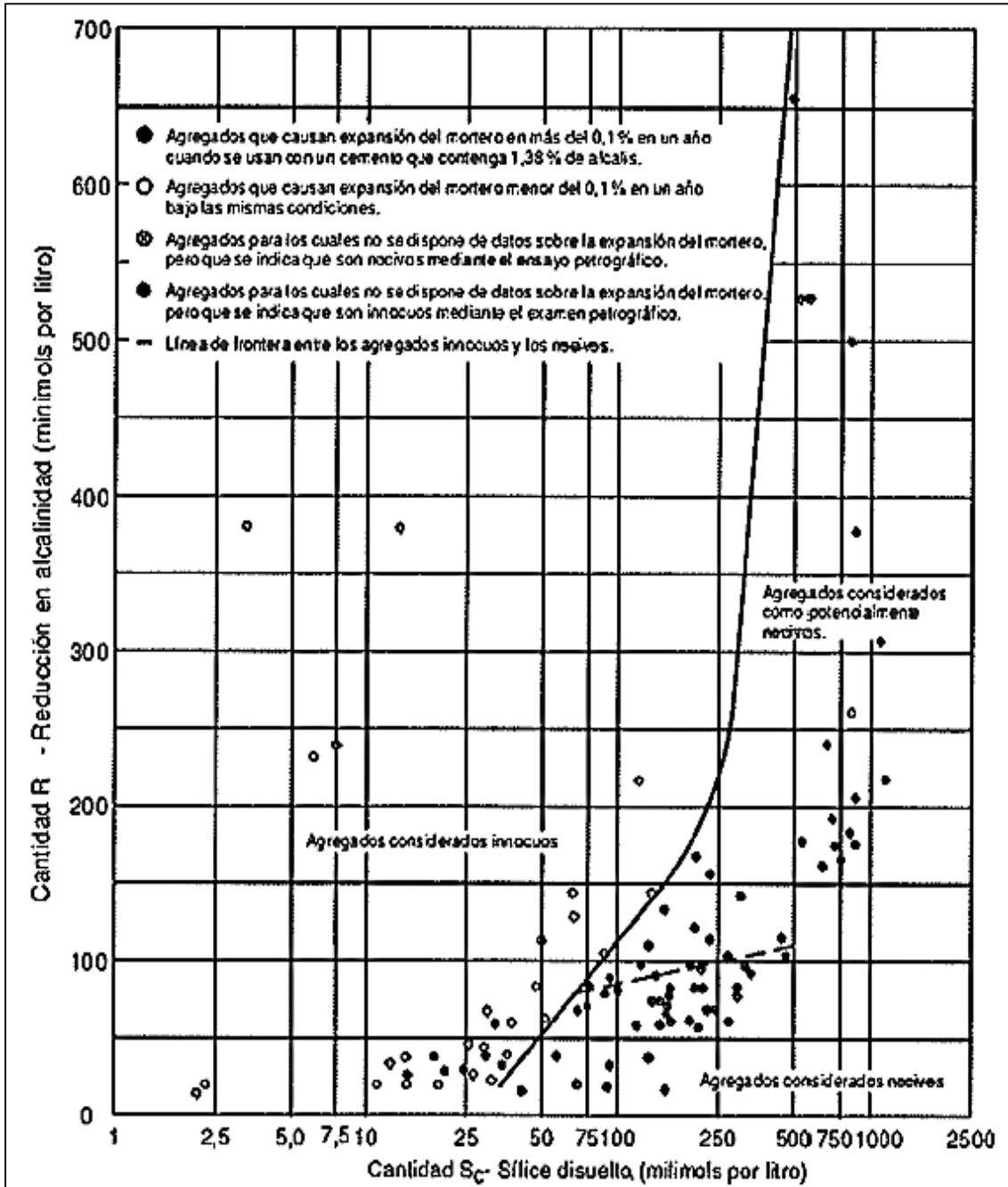
1.4.5.2.2. Interpretación de resultados

Se han reportado varias correlaciones entre los resultados obtenidos con este método de ensayo, el comportamiento de los agregados en estructuras de concreto, la expansión de barras de morteros a base de cemento de alto contenido de álcalis y con el análisis petrográfico de los agregados.

A partir de esta información, es posible dibujar la curva presentada en la figura 11. Si al graficar cualquiera de los tres puntos Rc y Sc, y alguno de ellos se sitúa en la parte superior derecha de la curva, esto significa un grado potencialmente dañino de reactividad alcalina. Sin embargo, agregados potencialmente dañinos representados arriba de la línea punteada de la figura 11 pueden causar una expansión relativamente baja. No obstante, estos agregados se consideraran potencialmente reactivos hasta que demuestren inocuidad por medio de registros de servicio, o a través de ensayos complementarios.

Los resultados de este ensayo pueden ser incorrectos para agregados que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tales como la calcita, dolomita, magnesita; o silicatos de magnesio como la serpentina.

Figura 11. División entre agregados inocuos y dañinos con base en el ensayo de la reducción en alcalinidad



Fuente: Norma NTG 41010 h13.

1.4.5.3. Reactividad potencial álcali-sílice en los agregados (método de la barra de mortero), según NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)

El método tiene por objeto determinar, en un período de 16 días, la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados que se pretenden utilizar en concreto a través de barras de mortero. El método es útil para agregados que reaccionan lentamente o que causen en la reacción una expansión retardada. Sin embargo, con este método no se pueden evaluar las combinaciones de agregados con materiales cementantes, ni tampoco ofrece condiciones representativas del concreto en servicio.

1.4.5.3.1. Selección del agregado

Los materiales disponibles para utilizarlos como agregado grueso para el concreto deben triturarse y tamizarse para obtener un producto graduado adecuadamente, de manera que se pueda tomar una muestra de él. En la tabla IX se presenta la graduación de la muestra, la cual debe ser representativa.

Cuando se dispone de material proveniente de cantera para ser utilizado como agregado fino y grueso, este se ensaya tomando una muestra apropiada triturada a los tamaños del agregado fino. Si se tienen sospechas sobre la composición de las porciones de agregado grueso de mayor tamaño, y que además, esta composición puede perjudicar la expansión causada por la reacción con los álcalis del cemento o por el ambiente de servicio. Entonces, las porciones de tamaño grueso se deben ensayar de forma similar como se ensayan las porciones de agregado fino.

1.4.5.3.2. Preparación del agregado

Los agregados deben graduarse como se indica en la tabla IX, deben triturarse hasta obtener el material que se requiera. En el caso que no haya cantidades suficientes de uno o más tamaños de agregado para triturar, el primer tamaño que tenga suficiente material disponible deberá contener el porcentaje acumulativo de material hasta el tamaño faltante. Graduada la muestra, se procede a lavarla con agua para remover polvo y partículas finas adheridas en el agregado. Luego, el material retenido se seca.

Tabla IX. **Requisitos de graduación de los agregados**

No.		
Pasa	Retenido en	Porcentaje de masa
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 mm (No. 8)	1,18 (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	1500 µm (No. 100)	15

Fuente: NTG 41010 h14.

1.4.5.3.3. Procedimiento

Se colocan los moldes en el cuarto de curado, luego de haber sido llenados. Los especímenes deben permanecer en los moldes por 24 ± 2 horas. Transcurrido el tiempo se sacan de los moldes y con el comparador de longitud se hace una primera lectura. Luego de hacer todas lecturas, los especímenes

se sumergen en un recipiente con suficiente agua. Los recipientes se sellan y se colocan en un horno de convección o en un baño de agua a una temperatura de 80 ± 2 °C durante 24 horas.

Pasadas las 24 horas, se sacan los recipientes del horno (o del baño) de uno en uno a la vez. No se permite sacar el resto de los recipientes hasta que las barras del primer recipiente hayan sido medidas y devueltas al horno. El tiempo máximo para retirar y regresar los especímenes al horno es de 10 minutos. Las barras se sacan del agua una a la vez y su superficie debe secarse.

Luego se procede a tomar la lectura cero, previo a hacer las lecturas de cada grupo de especímenes se debe hacer la lectura de la barra de referencia del aparato medidor, pues el calor de las barras de mortero puede alterar las lecturas del aparato medidor. Realizadas todas las lecturas de los especímenes, éstos se sumergen en un recipiente con suficiente solución 1N NaOH a una temperatura de 80 ± 2 °C. Se sellan nuevamente y se regresan al horno de convección o al baño de agua.

Periódicamente se deben realizar lecturas, con al menos tres intermedias en un período de 14 días luego de haber hecho la lectura cero, preferiblemente si son a la misma hora de cada día. Se recomienda hacer una lectura por semana si se desea hacer más allá de los 14 días.

1.4.5.3.4. Cálculos

Se calcula la diferencia entre la lectura cero de cada espécimen en el comparador de longitud y la lectura de cada período, al 0,001 % más cercano de la longitud patrón y se registra como la expansión del espécimen para el

período dado. Se informa la expansión promedio de tres especímenes de una combinación cemento-agregado, al 0,01% más próximo como la expansión para tal combinación para un período dado.

El informe debe contener lo siguiente:

- Tipo de agregado y la fuente del mismo.
- Tipo de cemento Portland y la fuente del mismo.
- La expansión en autoclave y el contenido de álcalis del cemento, expresado en porcentaje de óxido de potasio (K_2O), porcentaje de óxido de sodio (Na_2O) y el porcentaje equivalente de óxido de sodio (Na_2O) calculado con la fórmula: $Na_2O_{eq} = \%Na_2O + 0,658 \times \%K_2O$.
- Promedio del cambio de longitud, en porcentaje, de cada una de las lecturas de los especímenes.
- Cualquier información relevante relacionada a la preparación de los agregados.
- Cualquier característica importante descubierta durante el examen de los especímenes.
- La cantidad de agua de mezclado expresada en porcentaje de la masa del cemento.
- Gráfica de los datos de cambio de longitud de los especímenes desde que se tomó la lectura cero hasta finalizar el período de 16 días.

1.4.5.3.5. Interpretación de resultados

En la mayoría de casos, las expansiones menores que 0,10 % a los 16 días indican un comportamiento inocuo. Casos con expansiones mayores que 0,20 % a los 16 días indican expansiones potencialmente dañinas. Las expansiones comprendidas entre 0,10 % y 0,20 % a los 16 días incluyen

agregados tanto inocuos como dañinos. Para estos casos debe desarrollarse información suplementaria.

1.4.6. Ataque por sulfatos y sulfuros

Los sulfatos son compuestos químicos que están presentes en el suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas de mar. Las formaciones de sulfato más comunes son sulfatos de sodio, calcio, potasio y magnesio.

1.4.6.1. Ataque por sulfatos (DEF)

La acción de los sulfatos, en cantidades excesivas, puede causar expansión, fisuras o descomposición de los elementos que intervienen durante la hidratación del cemento.

La reacción DEF (*delayed ettringite formation*) representa una de las formas de deterioro del concreto vinculadas con la formación de etringita. La reacción consiste en un ataque interno de sulfatos, que se caracteriza por la descomposición, o no formación inicial, y la subsecuente recristalización de etringita producida por un inadecuado curado térmico, o bien, por el almacenaje de componentes de concreto en un ambiente húmedo-cálido.

Las sales sólidas no atacan químicamente al concreto, pero si están presentes en solución, pueden reaccionar con la pasta de cemento hidratada. Por lo general, son comunes los sulfatos de sodio, potasio, magnesio y calcio, los cuales se presentan en el suelo o en el agua freática. Ya que la solubilidad del sulfato es muy alta, las aguas freáticas con un alto contenido de sulfatos contienen otros sulfatos diferentes del sulfato de calcio. Esto es importante

debido a que los otros sulfatos pueden reaccionar tanto con el óxido de calcio hidratado como con los componentes de hidratación del cemento.

La acción física de expansión y la disrupción en los poros del concreto, causada por la cristalización de las sales solubles de sulfatos, conforme pierden agua las soluciones, generan un fenómeno conocido como “acción del salitre”.

1.4.6.1.1. La etringita en el concreto y sus formas

La etringita es un sulfo-aluminato cálcico hidratado cristalino ($C_6AS_3H_{32}$). Es un producto que se origina durante la hidratación normal de los cementos Portland y su presencia en el concreto, bajo condiciones normales de curado y uso, produce expansión y tampoco representa un problema para su durabilidad. La cantidad de etringita producida es difícil de estimar, ya que depende de diversos factores que no siempre se conocen.

Atendiendo a los posibles mecanismos de formación, se consideran tres formas distintas de etringita:

- Etringita primaria: es un producto normal de la reacción de hidratación del cemento Portland. Su formación en el concreto no genera expansión.

La etringita que se forma como resultado del ataque externo de sulfatos, puede considerarse como etringita primaria.

- Etringita secundaria: en el concreto endurecido y húmedo, luego de un tiempo considerable, la etringita presente puede experimentar cierta disolución y por consiguiente una recristalización de los espacios

disponibles. Esta clase de etringita se denomina secundaria y su formación no causa expansión.

- Etringita retrasada: dado que la etringita primaria es inestable a temperaturas entre 65-70 °C. Bajo condiciones de curado a estas temperaturas, la etringita primaria no se formará y la que pudiera haberse formado antes del curado, se descompondrá. Si el concreto curado de esta manera se mantiene en agua o en condiciones húmedas y cálidas, lentamente se formará etringita en la matriz de concreto causando una reacción DEF.

1.4.6.2. Ataque por sulfuros

Los sulfuros de hierro (piritas y marcasitas) representan las inclusiones expansivas más frecuentes en el agregado. Estos sulfuros reaccionan con el agua y el oxígeno del aire para formar sulfato ferroso, el cual se descompone mientras los iones de sulfato reaccionan con los aluminatos de calcio del cemento. Además se puede formar ácido sulfúrico, que también puede atacar la pasta de cemento hidratada.

Las manchas superficiales del concreto y la separación de la pasta de cemento se presentan especialmente en condiciones cálidas y húmedas. La formación de reventones puede retardarse por años hasta que el agua y el oxígeno estén presentes.

No todas las piritas son reactivas. Dado que la descomposición de la pirita solamente ocurre en aguas calcáreas, es posible probar los agregados en suspensión para determinar su reactividad, colocándolos en una solución saturada de cal. La falta de reactividad se relaciona con la presencia de cierto

número de cationes metálicos, mientras que la ausencia de éstos hace que la pirita sea reactiva. Normalmente causan problemas las partículas de pirita entre 5 y 10 mm (3/16 a 3/8 de pulgada).

1.4.7. Ataque por cloruros

Los cloruros en el concreto favorecen y aceleran la oxidación del acero de refuerzo en el concreto. Pueden estar presentes en el concreto por la incorporación de agregados contaminados en la mezcla. La contaminación de los agregados puede ser causada por agua de mar o agua salobre, o por aditivos que contienen cloruros. Ninguno de estos materiales puede utilizarse en el concreto y, por tal razón, hay normas que prescriben límites muy estrictos en cuanto al contenido de cloruros en el concreto.

La corrosión es un proceso electroquímico que genera una acumulación de productos corrosivos en el acero. Los productos corrosivos causan un gran cambio de volumen que a su vez ocasionan expansiones y agrietamientos en el concreto.

El contenido de cloro para iniciar y acelerar la corrosión es del orden de 0,6 a 0,9 kg de Cl, por metro cúbico de concreto. Por ello, es importante determinar la presencia de cloruros en el concreto y sus componentes.

1.4.8. Ensayos para determinar el contenido de sulfatos y cloruros en agregados para concreto, según UNE 1744-1

Esta norma europea tiene como objetivo fijar los procedimientos operatorios para realizar el análisis químico de los agregados. La norma

describe los procedimientos operatorios de referencia y, en algunos casos, un procedimiento alternativo que proporciona resultados equivalentes.

1.4.8.1. Determinación de los cloruros solubles en agua por el método de Volhard (método de referencia)

Este método de prueba es adecuado para los agregados cuyo contenido de cloruros proceda del contacto directo con aguas salinas o por haber estado sumergidos en dichas aguas.

Una muestra del agregado se trata con agua para extraer los iones cloruro. El método de análisis de la disolución se basa en la determinación de Volhard, en el que se añade un exceso de una disolución de nitrato de plata a la disolución que contiene iones de cloruro; la cantidad de la disolución de nitrato de plata que no reacciona, se valora por retroceso con una disolución patrón de tiocianato, utilizando como indicador otra disolución de sulfato de amonio y de hierro.

Los cloruros se expresan como iones de cloruro, en porcentaje en masa, con relación al contenido en iones de cloruro del agregado.

1.4.8.1.1. Muestreo

Asegurarse que la muestra de laboratorio es representativa, tanto en su contenido de humedad como en el de sólidos.

Reducir la muestra de laboratorio hasta obtener en función del tamaño nominal del agregado, una cantidad no inferior a la masa indicada en la tabla X.

Tabla X. **Masa mínima de la muestra**

Tamaño de tamiz	
Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
63	50
45	35
31,5	15
22,4 o menos	5

Fuente: EN 17411-1:1998.

Secar la muestra a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Tamizar la muestra a través de un tamiz de 16 mm y moler todo el material retenido hasta que pase por el tamiz, evitando una molienda excesiva. Obtener dos muestras de ensayo de aproximadamente $2 \pm 0,3$ kg de masa cada una para agregado grueso y de 500 ± 75 g de masa para agregado fino.

1.4.8.1.2. Preparación de los extractos

Para los agregados gruesos utilizar dos botellas de plástico o de metal de boca ancha, de 5 L de capacidad; para los agregados finos emplear dos botellas de 2 L de capacidad. Pesar cada botella.

Introducir en las botellas el material muestreado, y pesarlas con su contenido. Calcular por diferencia la masa de agregado en cada botella.

Añadir a cada botella una masa de agua igual a la de la muestra de ensayo y agitarlas continuamente durante 60 min en un agitador de sacudidas o

de rodillos. A continuación, filtrar disoluciones a través de papeles de filtro secos, de textura media hasta que recojan, como mínimo, 100 ml de filtrados claros o ligeramente opalescentes en vasos limpios y secos.

1.4.8.1.3. Procedimiento operatorio para determinar el contenido de cloruros en los extractos

Con una pipeta tomar 100 ml del extracto filtrado y pasarlo a un matraz de 250 ml. Añadir 5 ml de ácido nítrico al matraz y a continuación, 5 ml de nitrato de plata contenido en una bureta, hasta precipitación completa de los cloruros, añadiendo un exceso.

Añadir 2 ml de trimetil 1 hexanol, tapar el matraz y agitarlo para coagular el precipitado. Destapar el matraz y lavar el tapón con agua recogiendo las aguas de lavado. Luego, añadir 5 ml de sulfato de amonio y de hierro. Repetir el procedimiento operatorio con la disolución de la segunda botella. El resultado del ensayo se expresa como la media de las determinaciones realizadas con las dos disoluciones.

1.4.8.1.4. Cálculos y expresión de los resultados

Calcular el contenido en iones cloruro Cl del agregado, expresado en porcentaje en masa, por medio de la siguiente fórmula:

$$C \text{ (en \%)} = 0,003546 W [V_5 - (10 \times C_t \times V_6)]$$

Donde

V_5 = volumen añadido de la disolución de nitrato de plata, en ml;

V_6 = volumen consumido de la disolución patrón de tiocianato, en ml;

C_t = concentración de la disolución patrón de tiocianato, en moles por litro

W = relación agua-agregado, en gramos-gramo

1.4.8.2. Determinación de los sulfatos solubles en agua

De una muestra del agregado se extraen con agua los iones de sulfato solubles en agua en la misma. El contenido en sulfatos solubles en agua se determina por precipitación, a pH comprendido entre 1 y 1,5, con una disolución de cloruro de bario a ebullición.

El contenido de iones sulfato se expresa en porcentaje, en masa, con relación a la masa del agregado. Este método también se aplica para el análisis de los agregados que contengan sulfuros; por ejemplo, las escorias.

1.4.8.2.1. Muestreo

Reducir la muestra de laboratorio hasta obtener en función del tamaño nominal del agregado, una cantidad no inferior a la masa indicada en la tabla X.

Secar la muestra a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Tamizar la muestra a través de un tamiz de 16 mm y moler todo el material retenido hasta que pase por el tamiz, evitando una trituration excesiva. Obtener dos muestras de ensayo de aproximadamente $2 \pm 0,3$ kg de masa, cada una para agregado grueso y de 500 ± 75 g de masa para agregado fino.

1.4.8.2.2. Preparación de los extractos

Para los agregados gruesos utilizar dos botellas boca ancha de vidrio o de plástico, de 5 L de capacidad; para los agregados finos emplear dos botellas de 2 L de capacidad. Pesar cada botella.

Introducir en las botellas el material muestreado, y pesarlas con su contenido. Calcular por diferencia la masa de agregado en cada botella.

Añadir a cada botella una masa de agua igual o el doble de la muestra de ensayo. Ajustar los cierres herméticos de cada botella y mezclar su contenido por medio del agitador de sacudidas o rotatorio, por un período mínimo de 24 horas. A continuación, filtrar los extractos a través de papeles de filtro de textura media y secos hasta obtener, al menos, 100 ml de filtrados claros que se recogen en vasos secos y limpios.

1.4.8.2.3. Procedimiento operatorio para determinar el contenido de cloruros en los extractos

Con una pipeta transferir 50 ml del extracto filtrado a un vaso de 500 ml, diluir con agua hasta obtener un volumen de 300 ml, añadir 10 ml de la disolución de ácido clorhídrico. Llevar a ebullición y mantener esta durante 5 min.

Agitar, continuar con la ebullición, añadir gota a gota 5 ml de disolución de cloruro de bario calentada a una temperatura próxima a la de ebullición. Continuar con la ebullición durante 15 min para obtener una precipitación completa.

Reposar la disolución durante 30 min a una temperatura próxima a la de ebullición; a continuación dejar dicha disolución durante una noche en un lugar caliente. Transferir el precipitado de sulfato de bario filtrando a vacío, a un crisol filtrante de sílice sinterizada, previamente calcinado y tarado.

Si se emplea un crisol de sílice sinteriza, retirarlo del matraz de vacío y secar a 110 ± 5 °C durante un período aproximado de 30 min, elevar gradualmente la temperatura hasta 925 ± 25 °C en un horno hasta masa constante.

Dejar enfriar el crisol en un desecador y pesar. Si el precipitado se ha filtrado a través de un papel de filtro, llevar el papel de filtro y el precipitado a un crisol, previamente calcinado y tarado. Colocar el crisol y su contenido en un horno. Calcular la masa del precipitado a partir del aumento de masa del crisol.

1.4.8.2.4. Cálculos y expresión de los resultados

Calcular el contenido en sulfatos solubles en agua del agregado, expresado en porcentaje en masa, como SO_3 , por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{SO}_3 \text{ soluble (en \%)} = 2 \times W \times 0,343 \times m_3$$

Donde

m_3 = masa del precipitado de sulfato de bario, en gramos

W = relación agua/agregado, en gramos/gramo

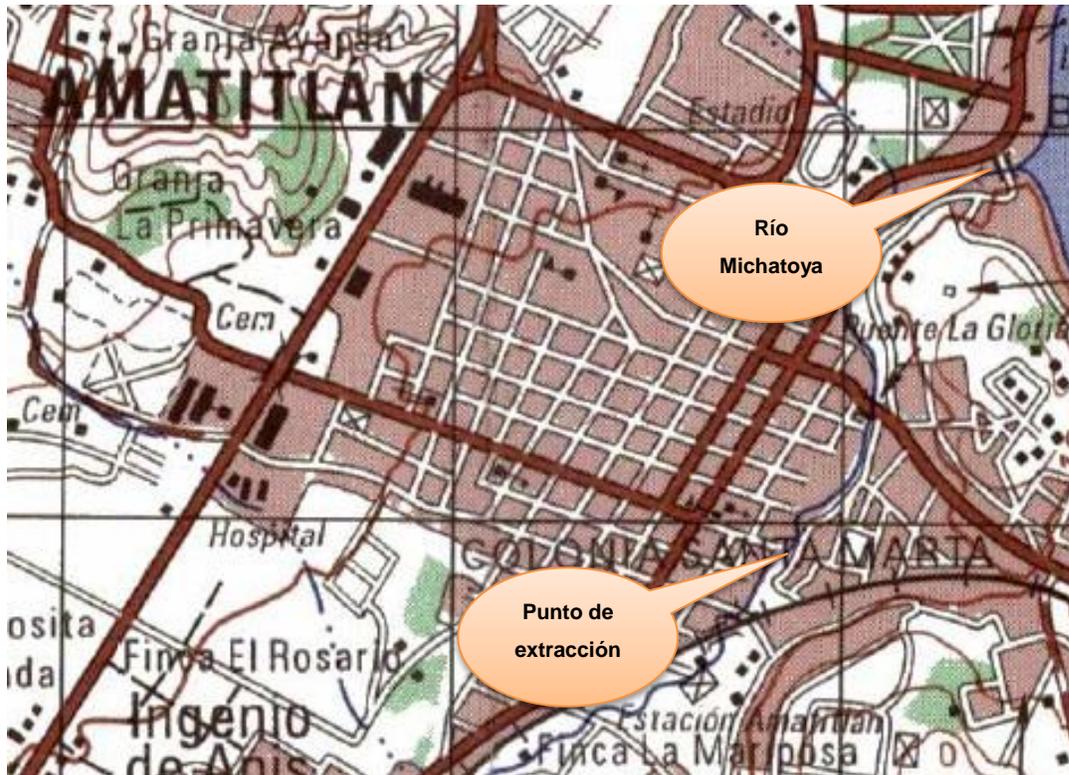
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Localización del banco en estudio

El lugar en estudio se ubica en Amatitlán. Se localiza a la orilla del río Michatoya, en el cual de manera artesanal se obtiene la arena con la que se realiza este trabajo de investigación. El agregado extraído del río es poco aprovechado para su uso en concreto, probablemente por la disponibilidad de materiales de mejor calidad en el municipio. El sitio que ocupa el banco comprende un área muy pequeña.

El banco se encuentra en la colonia Villas del Río, a la orilla del río Michatoya, a un kilómetro del parque central de Amatitlán. Para llegar al lugar, partiendo del parque central como punto de referencia, se toma la 3ª avenida hasta llegar a la 2ª calle. En dicha calle se toma la carretera que conduce a Villa Canales hasta pasar por el puente de la Gloria. Inmediatamente después del puente se toma el camino paralelo al río, 400 metros río abajo del puente se ubica el banco.

Figura 12. **Mapa de localización del banco**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, hoja: Amatitlán.

2.2. Descripción geológica de la cuenca del lago de Amatitlán

Existen 30 fallas geológicas dentro de la cuenta del lago de Amatitlán, localizando la mayor parte de ellas en la microcuenca del río Villalobos, en el río Platanitos al sur del lago. Todas las fallas se derivan de cuatro de las grandes fallas de Guatemala: El Frutal, Jalpatagua, Pinula y Mixco.

2.2.1. Acetato de fallas

En la cuenca del lago de Amatitlán, predominan los sedimentos eólicos, fluviales y lacustres con flujos de ceniza, luego se encuentra la lava basáltica y las tobas. En el área comprendida por la cuenca y el lago de Amatitlán se distinguen cuatro unidades hidrogeológicas:

- Depósitos volcánicos (cuaternarios)
- Sedimentos fluvio-lacustres (cuaternarios)
- Lavas volcánicas (terciarios)
- Calizas y granitos (cretáceos)

2.2.1.1. Depósitos cuaternarios

Las formaciones de roca volcánica que datan del período cuaternario, incluyen rocas coladas de lava, depósitos piroplásticos, rellenos y cubiertas gruesas de cenizas y pómez, con cierto grado de consolidación y paleo-suelos intercalados. Asimismo están constituidas por sedimentos fluvio-lacustres, los cuales consisten en gravas y arenas estratificadas y clasificadas producto de láminas de estratos planares muy finos de arcilla, limocalcario y diatomitas.

La mayor parte del territorio de la cuenca está formado por depósitos volcánicos y sedimentos fluvio-lacustres, especialmente al norte como al sur del lago.

2.2.1.2. Depósitos terciarios

Las rocas de esta clase son una serie de tobas soldadas de composición riolítica o dacítica. Conglomerados y areniscas de grano grueso y limonitas

tobasias que forman intercolaciones de tipo fluvial. Se calcula que este grupo de depósitos pueden tener un espesor de 200 metros.

Las orillas del lago de Amatitlán están formadas por escarpes de 350 metros de altura, los cuales consisten en acumulaciones de flujos de lava andesítica. Además se identifican algunas áreas diferenciadas en el norte de la cuenca, especialmente en las subcuencas de los ríos las Minas, el Molino y el Bosque.

2.2.1.3. Depósitos cretácicos

La secuencia de calizas y arcillas del período cretácico, se presentan al norte de la ciudad de Guatemala. Esta distribución hace pensar que la ausencia de afloramientos de calizas al sur de la actual divisoria continental de aguas, se debe posiblemente al movimiento tectónico postcretácico del sistema de fallas de rumbo noroeste u oeste.

En el borde oriental del lago hay un pequeño afloramiento de granito de biotita de grano grueso, vigorosamente fisurado y meteorizado, afloramientos similares se hallan hacia el este.

2.2.1.4. Depósitos recientes

Los aluviones en la cuenca se hallan en los valles mayores, los cuales tienen fondos anchos y planos, donde se acumulan arenas, gravas y limos. El delta del río Villalobos en el lago de Amatitlán representa la mayor acumulación de sedimentos aluviales. Los depósitos son arenas limosas y limos arenosos, con intercalaciones de arenas clasificadas que representan antiguos lechos del río.

2.3. Materiales

Para realizar este trabajo de investigación, los materiales son la parte más importante para los ensayos de laboratorio, que se realizarán dentro del desarrollo experimental. Con esto se determinarán las características físicas, químicas y petrográficas de la arena.

2.3.1. Arena de río

Material fino extraído del río Michatoya típicamente de color café y canto rodado.

Figura 13. Arena del río Michatoya



Fuente: colonia Villas del Río.

2.3.1.1. Recolección de las muestras

La arena fue recolectada en el lugar descrito anteriormente, el día 27 de junio de 2015. Durante su recolección fue puesta en sacos para su posterior estudio. Cabe mencionar que, conjuntamente en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros y la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, y en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, se realizaron los ensayos a la arena extraída del río Michatoya.

2.3.1.2. Preparación de la muestra

Para la realización de los ensayos de este trabajo de investigación, se debía preparar una muestra de arena de río, siendo la siguiente:

- Arena de río sin lavar, la que se utiliza para los ensayos sin alteraciones, tal como se recolectó.

2.3.2. Cemento

Se utilizó cemento portland puzolánico tipo I (PM) de uso general en la construcción, conforme a la Norma ASTM C-595.

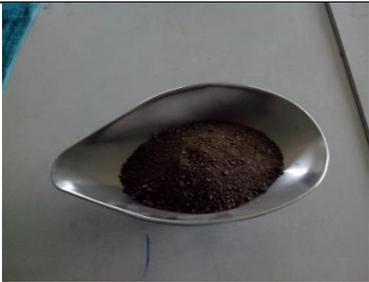
2.4. Ensayos físicos

Concluidos los procesos de muestreo y preparación de la arena, se procedió a realizar los ensayos físicos, siendo éstos: granulometría; peso unitario; peso específico; porcentaje de absorción; porcentaje de vacíos; contenido de materia orgánica; porcentaje de tamiz No. 200; estabilidad

volumétrica por ataque de sulfato de sodio y determinación de terrones de arcilla.

Los ensayos fueron realizados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería, utilizando procedimientos y especificaciones indicados en las normas NTG y ASTM aplicables.

Figura 14. **Elaboración de los ensayos físicos en el laboratorio**

 <p>Material para la prueba de granulometría.</p>	 <p>Muestras para la prueba de estabilidad volumétrica.</p>
 <p>Material para las pruebas de peso específico y unitario.</p>	 <p>Muestra de la prueba de materia orgánica.</p>
 <p>Prueba de tamiz No. 200</p>	 <p>Muestra para la prueba de terrones de arcilla.</p>

Fuente: Laboratorio de Morteros. CII, USAC.

2.5. Ensayos químicos y petrográficos

Concluidos los procesos de muestreo y preparación de la arena, se procedió a realizar los ensayos químicos y petrográficos, siendo éstos: reactividad potencial; contenido de cloruros solubles en agua; contenido de sulfatos solubles en agua; contenido de humedad y un análisis petrográfico.

Los ensayos químicos fueron realizados por el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería. El análisis petrográfico fue realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas de la Facultad de Ingeniería, siguiendo procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM aplicables.

Figura 15. **Muestras de arena utilizadas para el examen petrográfico**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. Edificio T-1, USAC.

2.6. Ensayos mecánicos

Dentro del desarrollo experimental se realizaron dos ensayos mecánicos, una prueba de resistencia a compresión y otra a tensión, con las cuales a través de muestras de mortero de cemento se determinó la resistencia alcanzada. También se realizó la prueba de reactividad potencial álcali-agregado utilizando barras de mortero, con la cual se medirá la expansión o contracción del cemento con la arena de río en un período de 16 días.

Los ensayos mecánicos fueron realizados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería, siguiendo procedimientos y especificaciones indicados en las normas NTG y ASTM aplicables.

Para la realización de los cubos, briquetas y barras de mortero con la arena de río, se definió la proporción a utilizar, temperatura y humedad de la cámara de curado, así como las diferentes edades de ensayo para las muestras de cada una de las pruebas.

2.6.1. Proporciones

La proporción utilizada se determinó conforme a las normas aplicables para los ensayos realizados, siendo esta para elaborar los especímenes de las pruebas a compresión y tensión: 564 gramos de cemento, 1 000 gramos de arena y 340 mililitros de agua. Para la prueba de las barras de mortero se utilizó la misma proporción.

En la siguiente tabla se muestra la proporción utilizada en las diferentes mezclas.

Tabla XI. **Proporción utilizada para las diferentes mezclas**

Muestra	Material	Proporción en peso (g)	Proporción en volumen	Flujo
Arena de río sin lavar	Cemento	564	1	114
	Agregado fino	1 000	1,77	
	Agua	340	0,47	

Fuente: elaboración propia.

Realizadas las pruebas a la arena, controladas la temperatura y humedad del laboratorio y de la cámara de curado, y calculada la proporción, se continuó con la realización de los diseños de mezcla prácticos de los cubos, briquetas y barras de mortero, cumpliendo con los requerimientos de las normas NTG y ASTM aplicables para cada caso.

Figura 16. **Elaboración de cubos, briquetas y barras de mortero**

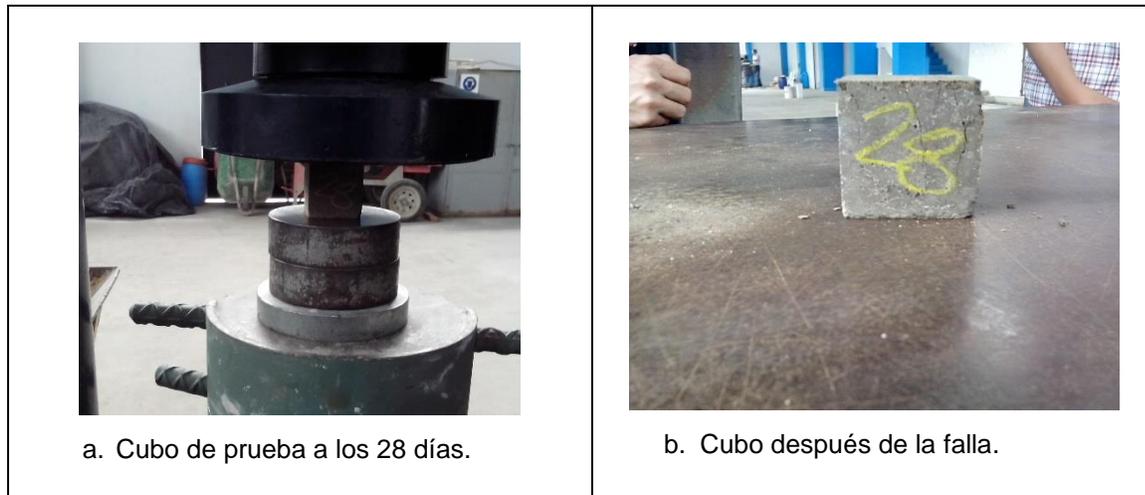


Fuente: Laboratorio de Morteros. CII, USAC.

2.6.2. **Ensayo de cubos y briquetas de mortero**

Para la realización de este trabajo de investigación se diseñó un mortero y se determinó su resistencia a la compresión y tensión a las edades de 3, 7 y 28 días. Establecidas las fechas de ensayo se procedió a ensayar a compresión los cubos y a tensión las briquetas de mortero.

Figura 17. **Ensayo de compresión de cubos de cemento y arena de río**



Fuente: área de máquinas. CII, USAC.

Figura 18. **Ensayo de tensión de briquetas de cemento y arena de río**



Fuente: área de máquinas. CII, USAC.

2.6.3. Ensayo de medición de la expansión o contracción de barras de mortero

Esta prueba se realizó siguiendo las indicaciones de la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1 260). Establecidas las fechas de ensayo se procedió a realizar las mediciones de expansión o contracción de las barras de mortero.

Figura 19. **Medición de expansión o contracción de barra de mortero**



Fuente: Laboratorio de Morteros. CII, USAC.

3. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de las características y propiedades físicas, mecánicas, petrográficas y químicas de la arena del río Michatoya, se describen en este capítulo, tabulando y analizando cada uno de los resultados. Los informes de las pruebas realizadas se incluyen en los anexos. Los procedimientos de cada una de las Normas fueron descritos en el capítulo uno.

3.1. Ensayos físicos

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la caracterización física de la arena del río Michatoya y se comparan con los límites permisibles establecidos en las Normas NTG 41007 (ASTM C-33), NTG 41010 h6 (ASTM C-88) y NTG 41010 h10 (ASTM C-142).

3.1.1. Granulometría

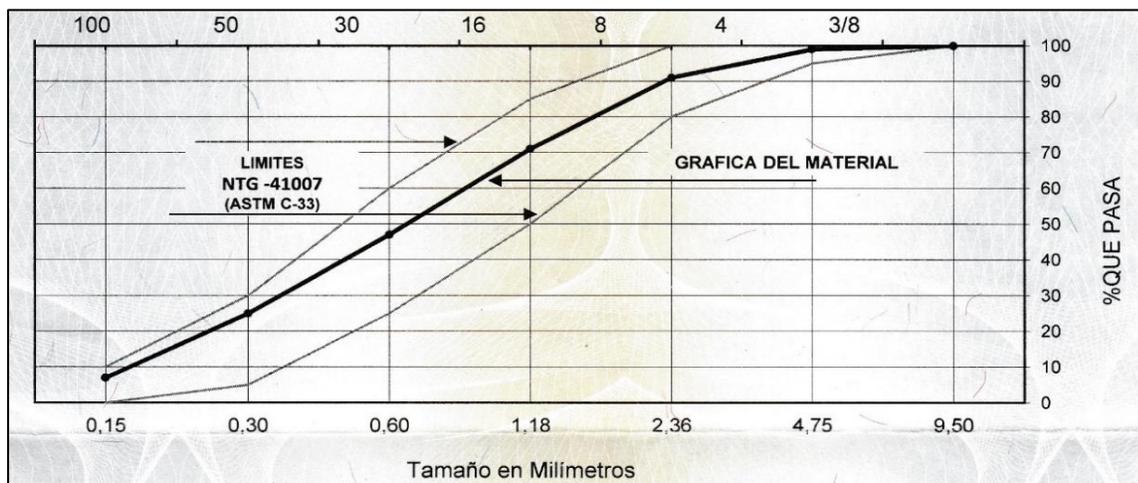
A continuación, se presentan los resultados de los ensayos físicos de la arena del río Michatoya, cabe mencionar que esta fue ensayada sin ningún tipo de tratamiento (no fue lavada), exactamente como se muestreó en el río.

Tabla XII. **Propiedades físicas de la arena extraída del río Michatoya**

Ensayo	Resultado
Peso específico	2,09
Peso unitario compactado	1 230 kg/m ³
Peso unitario suelto	1 080 kg/m ³
Porcentaje de vacíos	41,00 %
Porcentaje de absorción	6,80 %
Contenido de materia orgánica	5
Porcentaje que pasa por tamiz No. 200	3,80 %
Porcentaje retenido en tamiz 6,35	2,10 %
Módulo de finura	2,60

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Granulometría de la arena del río Michatoya**



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	99,00	91,00	71,00	47,00	25,00	7,00

Fuente: elaboración propia.

Las normas NTG especifican los límites para cada una de las pruebas realizadas, de los resultados que aparecen en la tabla XII y en la figura 21 se puede decir que:

- La Norma NTG 41007 (ASTM C-33), para agregado fino, especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz No. 200 no puede ser mayor al 3 %. En la prueba que se realizó, el porcentaje es de 3,80 % con el cual no se cumple con las especificaciones de la norma.
- El módulo de finura, según la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), debe encontrarse entre 2,30 y 3,10. El resultado del análisis para la arena del río Michatoya es de 2,60, por lo que el agregado cumple con las especificaciones de la norma.
- En la gráfica de granulometría de la figura 21 se observa que la graduación del agregado cumple con la especificación de la Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136), dado que la gráfica del material se encuentra dentro de los límites estipulados en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).
- Los límites del peso específico para agregados finos según la Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128) se encuentran entre 2,40 y 2,90, el resultado de la prueba realizada es de 2,09 por lo que no se cumple con los límites establecidos por la norma.
- Con el 41 % de vacíos, el agregado muestra un contenido alto, lo cual podría afectar la resistencia de concretos para los que se ha utilizado.
- Usualmente, el peso volumétrico del agregado fino utilizado para concreto varía de $1\ 200\ \text{kg/m}^3$ a $1\ 750\ \text{kg/m}^3$; mientras tanto del análisis realizado, con el peso unitario obtenido de $1\ 230\ \text{kg/m}^3$ se cumple con los requerimientos establecidos previamente.
- El porcentaje de absorción de 6,80 indica que el agregado absorbe mucha agua.

- Con relación al resultado del análisis de contenido de materia orgánica, la Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40) establece que el máximo permisible es No. 3, por lo que el resultado de No. 5 obtenido no es aceptable.

3.1.2. Estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio

La prueba de estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio se realizó según especificaciones de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), los resultados se describen a continuación:

Tabla XIII. **Datos del ensayo de estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio de la arena del río Michatoya**

Tamaños		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	Porcentaje de desgaste	Desgaste ref, a graduación
Pasa	Retenido					
100 (149 mm)						
50 (297 mm)	100 (149 mm)	25,50	-----	-----	-----	-----
30 (595 mm)	50 (297 mm)	22,42	100,04	92,12	7,92	1,77
16 (1,19 mm)	30 (595 mm)	23,85	100,02	92,91	7,11	1,70
8 (2,38 mm)	16 (1,19 mm)	19,80	100,06	82,06	17,99	3,56
4 (4,76 mm)	8 (2,38 mm)	7,73	100,03	74,45	25,57	1,98
3/8" (9,52 mm)	4 (4,76 mm)	15,52	100,07	69,72	30,33	4,71
Totales		114,82	-----	-----	-----	13,72

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la Norma NTG 41007 h6 (ASTM C-33), el porcentaje máximo permisible de desgaste si se utiliza sulfato de sodio es del 12 %. En la tabla XIII se observa que los tamices que cumplen con lo especificado por la norma son el que pasa el No. 30 y queda retenido en el No. 50, y el que pasa No. 16 y queda retenido en el No. 30; el resto no cumplen con las especificaciones de la norma, lo cual indica que el material no es resistente a la desintegración producida por los efectos del clima.

3.1.3. Determinación de terrones de arcilla y partículas friables

La prueba de determinación de terrones de arcilla y partículas friables se realizó según especificaciones de la Norma NTG 41010 h10 (ASTM C-142), los resultados se describen a continuación.

Tabla XIV. **Datos del ensayo de determinación de terrones de arcilla y partículas friables**

Ensayo	Resultado
Determinación de terrones de arcilla y partículas friables	5,40 %

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las especificaciones de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), el porcentaje máximo de terrones de arcilla y partículas friables es de 3,0 %, por lo que el resultado del análisis realizado no cumple con las especificaciones establecidas por la norma.

3.2. Ensayos químicos

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la caracterización petrográfica y química de la arena del río Michatoya y se comparan con los límites admisibles establecidos en las Normas ASTM C-295, NTG 41010 h13 (ASTM C-289) y EN 1744-1.

3.2.1. Examen petroográfico

Se realizó utilizando material tamizado de la prueba de granulometría para cada uno de los tamices indicados, contando un mínimo de 120 partículas cuando se disponía de ellas.

Luego se clasificó el tipo de partículas y minerales de la muestra, las partículas se clasificaron en tres tipos, siendo estos: andesita y escorias volcánicas, pómez y vidrio volcánico traslúcido. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz.

Tabla XV. **Porcentaje de material retenido en cada tamiz**

Tamiz No.	Porcentaje retenido
No. 4 (4,76 mm)	15
No. 8 (2,38 mm)	20
No. 16 (1,19 mm)	25
No. 30 (600 µm)	13
No. 50 (300 µm)	13
No. 100 (150 µm)	13
Total	100

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Cantidad de las partículas que componen la arena**

Tipo de mineral	Número de partículas por tamiz					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita y escorias volcánicas	80	102	129	55	67	35
Pómez	70	98	115	64	0	0
Vidrio volcánico silíceo	0	0	0	11	62	90
Totales	150	200	244	130	129	125

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Porcentaje de partículas que componen la arena por tamiz**

Tipo de mineral	Número de partículas por tamiz					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita y escorias volcánicas	53,33	51,00	52,87	42,31	51,94	28,00
Pómez	46,67	49,00	47,13	49,23	0,00	0,00
Vidrio volcánico traslúcido	0,00	0,00	0,00	8,46	48,06	72,00
Totales	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

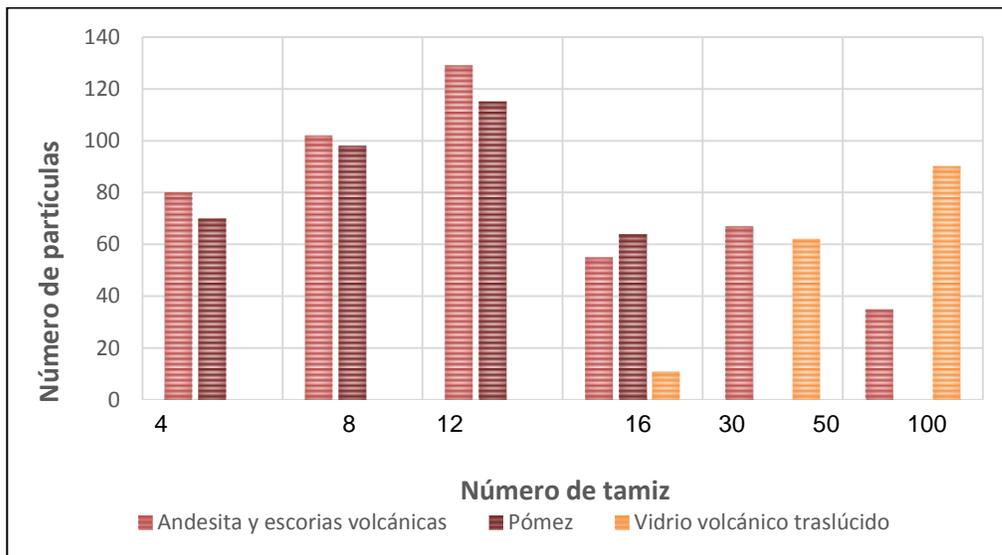
Fuente: elaboración propia.

Como se observa en las tablas XVI y XVII, la muestra en el tamiz No. 4 está compuesta principalmente por andesitas y escoria volcánica, y en un menor porcentaje por piedra pómez. Asimismo, en los tamices No. 8 y 16 la composición de la muestra es muy parecida a la composición del tamiz No. 4. Mientras tanto, la muestra del tamiz No. 30 tiene un porcentaje muy similar de piedra pómez y andesita y escorias volcánicas, y en un porcentaje muy pequeño vidrio volcánico. En el tamiz No. 50, los materiales dominantes son la andesita y escorias volcánicas y en un menor porcentaje aparece el vidrio volcánico. Sin embargo, caso contrario al anterior el tamiz No. 100 tiene vidrio volcánico y en un pequeño porcentaje andesita y escorias volcánicas.

De estos materiales, los dañinos para el concreto son el vidrio volcánico síliceo y la piedra pómez. El vidrio volcánico es dañino para el concreto, ya que está conformado por partículas vítreas, las cuales no tienen adherencia, lo que provoca segregación en el concreto. La piedra pómez no es apta para elaborar mezclas de concreto debido a que se forma a partir de magmas con niveles de acidez muy altos, dichos magmas contienen sustancias alcalinas que reaccionan con el cemento; además por la baja densidad y alta porosidad de la pómez no sería posible alcanzar la resistencia de un concreto estructural.

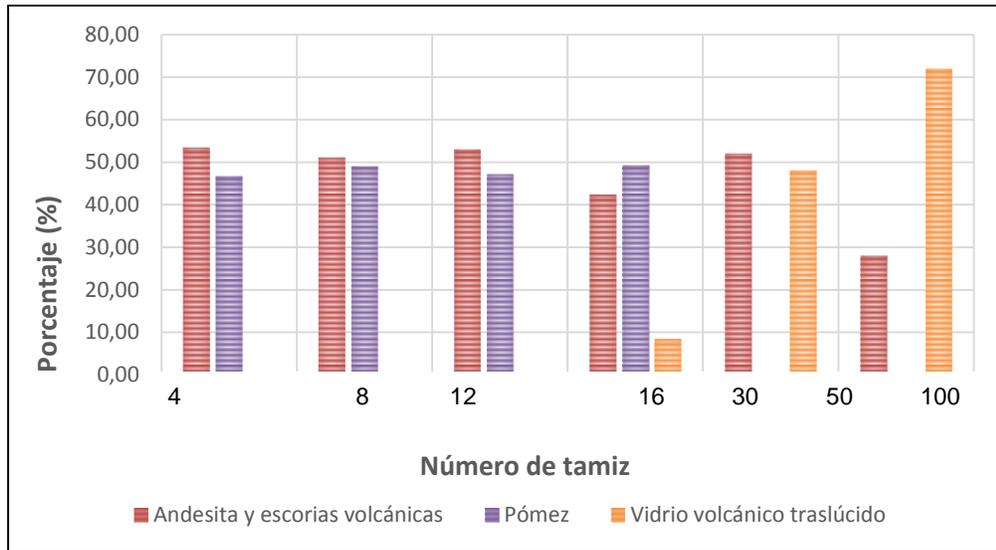
Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos, se han elaborado las gráficas de las figuras 22 y 23, las cuales muestran la distribución y el porcentaje de los distintos tipos de partículas por número de tamiz y el contenido de los componentes de la muestra.

Figura 21. **Distribución de los diferentes tipos de partículas de la arena**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Porcentaje de partículas de la arena**



Fuente: elaboración propia.

3.2.1.1. **Definición de los minerales que componen la arena del río Michatoya**

Los minerales son sustancias sólidas conformadas por elementos químicos inorgánicos de origen natural, que pueden encontrarse en la superficie terrestre. Los agregados son productos minerales imprescindibles para fabricar mezclas de concreto, asfalto, mortero, entre otros. Por ello, es necesario conocer la composición física y química de los minerales que conforman a los agregados, ya que éstos pueden afectar las propiedades de los productos que se fabrican con agregados.

3.2.1.1.1. Andesita y escorias volcánicas

La andesita es una roca ígnea volcánica integrada por plagioclasa sódica, piroxeno, biotita, hornblenda, sanidina y cuarzo. La andesita se genera a partir de un magma diferenciado relacionado con volcanismo de zonas de subducción. La matriz es densa y microcristalina de color negro, gris, gris-verdoso y rojizo-café. Es la roca volcánica más común después del basalto.

La escoria volcánica es un fragmento de lava emitido en una erupción. En conjunto con las cenizas, lapilli y bombas integran los piroclastos de proyección aérea. Su forma, color y vesiculación dependen de las características del magma, velocidad de emisión, temperatura de la lava y del tiempo que tarde en enfriarse.

3.2.1.1.2. Piedra pómez

Roca volcánica muy vesiculada, por lo que su densidad es muy baja y la hace flotar en el agua. La pómez se produce en erupciones explosivas, caracterizadas por la emisión de magmas donde el gas se expande con gran rapidez, formando así una especie de espuma de lava y gas, cuya parte líquida se solidifica rápidamente alrededor de la burbuja de gas. Se presenta en color blanco o gris.

3.2.1.1.3. Vidrio volcánico traslúcido

Es una roca formada por partículas vítreas que se generan por el enfriamiento rápido de lavas. Es de color transparente o incoloro.

3.2.2. Reactividad potencial álcali-sílice (método químico)

La prueba de reactividad potencial se realizó a una muestra de arena para determinar la capacidad reactiva potencial de incremento de volumen a mediano y largo plazo de sus componentes de silicio con los álcalis (Na_2O y K_2O) del cemento. La prueba se hizo siguiendo las especificaciones de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), los resultados se describen a continuación:

Tabla XVIII. Resultado del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice

Muestra	Reducción alcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Resultado
Arena del río Michatoya	4307,0 ± 313,9	< 1,0	A

Fuente: elaboración propia.

Como la reactividad potencial presenta una reducción alcalina demasiado alta, y el resultado de sílice disuelta está fuera del rango fotométrico de la norma (dato fuera de gráfica). Para la muestra de la arena del río Michatoya utilizada en esta prueba, no se hace una clasificación del material.

En la gráfica de la figura 11 puede apreciarse que no es posible intersectar los puntos de sílice disuelta y reducción alcalina de la muestra de arena analizada. Por lo tanto no es posible clasificar el agregado, pero se considera inadecuado para utilizarlo en mezclas de concreto y morteros, avalando el dictamen con base en los resultados de las pruebas de contenido de materia orgánica y sustancias perjudiciales realizados.

3.2.3. Determinación del contenido de cloruros solubles en agua por volumetría

Se aplicó el método de ensayo correspondiente de la Norma EN 1744-1 a la arena proveniente del río Michatoya, para determinar el porcentaje cloruros que pudieran estar presentes en el concreto por la incorporación de estos en la mezcla a través del agregado. El resultado se describe a continuación.

Tabla XIX. Resultado del ensayo de contenido de cloruros solubles en agua por volumetría

Muestra	Resultado (Cl ⁻) [%]	Límite de la norma (%)
Arena del río Michatoya	2,51	0,06

Fuente: elaboración propia.

Al analizar el agregado, este contiene 2,51 % de cloruros, el cual no es permisible dentro de los límites establecidos en el Código ACI 318, por lo que al utilizar el agregado en concreto armado expuesto a diferentes sollicitaciones podría ser víctima de expansión, fisuras o descomposición de los principales productos de hidratación del cemento, así como de corrosión en el acero como resultado del ataque químico de cloruros.

3.2.4. Determinación del contenido de sulfatos solubles en agua por volumetría

Se aplicó el método de ensayo de la Norma EN 1744-1 a la arena proveniente del río Michatoya para determinar el contenido de sulfatos que

podieran estar presentes en el concreto por la incorporación de estos en la mezcla a través del agregado. El resultado se describe a continuación.

Tabla XX. **Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles en agua por volumetría**

Muestra	Resultado (SO₄⁻²) [ppm]	Límite permitido (ppm)
Arena del río Michatoya	< 725	0 a 150

Fuente: elaboración propia.

El agregado analizado contenía menos de 725 ppm de sulfatos, este resultado no es aceptable dentro de los límites permitidos, por lo cual al utilizar el agregado en concreto estructural, este podría sufrir expansión, fisuras o descomposición de los principales productos de hidratación del cemento.

3.3. Ensayos mecánicos

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos practicados a las muestras de mortero fabricado con cemento y la arena del río Michatoya y se comparan con los límites permisibles establecidos en las Normas NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), NTG 41003 h4 (ASTM C-109) y ASTM C-190.

3.3.1. Reactividad potencial álcali-sílice (método de la barra de mortero)

En esta sección se presentan los resultados del ensayo de expansión o contracción de barras de mortero de la arena del río Michatoya.

Tabla XXI. **Ensayo de reactividad potencial álcali-sílice, mediante el método de la barra de mortero**

Lectura inicial		Lectura cero		Lectura 16 días		Expansión (%)
Fecha	Longitud inicial (mm)	Fecha	Longitud cero (mm)	Fecha	Longitud final (mm)	
03/09/2015	6,4405	04/09/2015	6,4980	22/09/2015	6,6765	0,0714

Fuente: elaboración propia.

Debe mencionarse que, con el ensayo de reactividad potencial álcali-sílice de la combinación cemento-agregado, utilizando barras de mortero, se determina el valor de expansión o contracción a los 16 días, siendo éste inferior al 0,20 % permisible según la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), por lo que la arena del río Michatoya se consideraría no reactiva. Sin embargo, basándose en descripciones de la norma y literatura pública, y dado que el agregado no produce una reacción deletérea dentro del período de evaluación debería realizarse un estudio de la expansión o contracción a los 28 y 56 días.

Si en caso la expansión o contracción no demuestran reacción deletérea, el estudio debería prolongarse hasta los 90 y 180 días, de modo que se logre observar un incremento notable en la expansión o contracción de las barras de mortero, lo cual permitiría identificar que el agregado es reactivo a largo plazo.

3.3.2. Ensayo de cubos de mortero a compresión

El ensayo de mortero a compresión se realizó fabricando cubos de mortero en proporción 1:1,77:0,47 siguiendo las especificaciones del método de prueba de la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C-109), ensayando las muestras a las edades de 3, 7 y 28 días.

Tabla XXII. **Resultados de mortero a compresión**

Cubo	Edad (días)	Área (cm²)	Carga (lb)	Resistencia (MPa)	Resistencia (lb/plg²)
1	3	26,384	8,800	14,80	2,150
2	7	26,264	10,900	18,50	2,680
3	28	26,739	11,500	19,10	2,770

Fuente: elaboración propia.

La Norma NTG 41096 (ASTM C-91) indica que la resistencia a la compresión a los 28 días de un mortero tipo M de proporción 1:3 debe ser de 20,00 MPa. La resistencia en la prueba realizada a los 28 días fue de 19,10 MPa, 5 % inferior al valor establecido por el método de ensayo. Sin embargo, el mortero ensayado era de proporción 1:1,77, por lo que utilizar la arena del río Michatoya en morteros de proporción 1:3 afectará la resistencia a compresión a los 28 días.

3.3.3. Ensayo de briquetas de mortero a tensión

El ensayo de mortero a tensión se realizó fabricando briquetas de mortero en proporción 1:1,77:0,47 siguiendo las especificaciones del método de prueba de la Norma ASTM C-190, ensayando las muestras a las edades de 3, 7 y 28 días.

Tabla XXIII. **Resultados de mortero a tensión**

Briqueta	Edad (días)	Área (cm²)	Carga (lb)	Resistencia (MPa)	Resistencia (lb/plg²)
1	3	6,452	305	2,10	310
2	7	6,452	345	2,40	350
3	28	6,452	490	3,40	490

Fuente: elaboración propia.

La Norma ASTM C-190 indica que la resistencia a la tensión a los 28 días de un mortero en proporción 1:3 debe ser igual o mayor a 2,45 MPa utilizando cemento tipo 1 (UGC) de 4 000 lb/plg². La resistencia en la prueba realizada a los 28 días fue de 3,40 MPa, 39 % superior las condiciones establecidas por el método de ensayo. Sin embargo, el mortero ensayado era de una proporción 1:1,77, por lo que el uso de la arena del río Michatoya en morteros a tensión en proporción 1:3 puede afectar la resistencia a tensión a los 28 días.

CONCLUSIONES

1. La arena del río Michatoya, cumple con algunas de las especificaciones descritas en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), siendo estas granulometría, módulo de finura y peso unitario. Sin embargo, no cumple con los límites de sustancias perjudiciales, peso específico, porcentaje de vacíos y porcentaje de absorción.
2. Con base en los resultados del ensayo de estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio, el uso de la arena del río Michatoya en concretos o morteros expuestos al intemperismo no es aceptable, ya que las partículas que pasan por los tamices 3/8", No. 4 y No. 8 presentan un porcentaje de desgaste mayor al 12 % establecido en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).
3. El resultado del ensayo químico de reactividad potencial álcali-sílice indica que la arena del río Michatoya no pudo ser evaluada por el método de ensayo de la Norma ASTM C-289, ya que la reactividad potencial presentó demasiada reducción alcalina y el resultado de sílice disuelta quedó fuera del rango fotométrico de la norma. Por ello y aunado a los resultados del contenido de materia orgánica, terrones de arcilla y porcentaje de tamiz No. 200, las partículas de la arena producirían reacciones dañinas al combinarlas con los álcalis del cemento.
4. No es posible observar y demostrar el carácter deletéreo de la reactividad potencial álcali-sílice mediante la evaluación de las barras de mortero, ya que los porcentajes de expansión no avalan los resultados

previos donde el contenido de sustancias perjudiciales es elevado, pero los resultados aparecerán en pruebas que se realicen a largo plazo.

5. Conforme al examen petrográfico realizado a la arena del río Michatoya, se encontró que las partículas del agregado están formadas principalmente de partículas de andesitas y escorias volcánicas, pómez y vidrio volcánico traslúcido. El vidrio volcánico traslúcido se considera dañino para el concreto por su alto contenido de sílice; mientras tanto, la andesita y pómez en porcentajes excesivos pueden ser dañinas para el concreto, ya que sus partículas están formadas por cuarzo, el cual es perjudicial para el concreto.
6. El contenido de sulfatos en el agregado fino no cumple con los requerimientos para agregados utilizados en concretos estructurales, establecidos en el Código ACI 318. Asimismo, el contenido de cloruros en el agregado es muy elevado, con el cual se sobrepasan los límites establecidos en el Código ACI 318 para la protección contra la corrosión del refuerzo de acero del concreto armado.
7. La resistencia a la compresión y tensión de morteros de cemento con la arena del río Michatoya, en proporción 1:3, puede afectarse dadas las características del agregado.

RECOMENDACIONES

1. Dar a conocer la información contenida en este trabajo de investigación a todas las personas, profesionales y entidades públicas o privadas ligadas a actividades relacionadas con la construcción y que utilicen la arena del río Michatoya.
2. No utilizar la arena del río Michatoya para uso en la construcción debido a que el agregado no permite garantizar la durabilidad y resistencia de las estructuras de concreto que se elaboren con este material. Si su uso es obligatorio por la falta de recursos económicos para adquirir agregados de calidad o por la carencia de estos, lavar el material utilizando equipo especial para reducir y eliminar la mayor cantidad posible de partículas orgánicas y sustancias perjudiciales.
3. Realizar la prueba de estabilidad a la disgregación por sulfatos de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88) a la arena del río Michatoya con diferentes procesos de lavado para comprobar si la resistencia al intemperismo del agregado es afectada por la contaminación del río Michatoya.
4. Prolongar el período de análisis de 16 días del método de ensayo de las barras de mortero de la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260) a 28, 56, 90 y 180 días dependiendo del comportamiento de la reacción potencial álcali-sílice que se produzca, esto para determinar satisfactoriamente la reacción deletérea (expansión o contracción) de la arena del río Michatoya con los álcalis del cemento.

5. Para obtener mejores resultados de la reactividad potencial álcali-sílice de la arena del río Michatoya con los álcalis del cemento, es recomendable realizar los métodos de prueba de los ensayos de las Normas NTG 41010 h15 (ASTM C-1567), ASTM C-227, ASTM C-342 y ASTM C-1263.
6. Realizar estudios petrográficos a la arena del río Michatoya para estimar los daños que provocarían los minerales del agregado en concretos y morteros a edades avanzadas.
7. Realizar estudios del efecto en las propiedades físicas, químicas y mecánicas derivadas de la interacción de la arena del río Michatoya con cementos de alta y moderada resistencia a los sulfatos, y de baja reactividad a los agregados reactivos a los álcalis del cemento.
8. Investigar si la arena del río Michatoya puede utilizarse en morteros con base de cal, yeso, cemento blanco u otro aglomerante diferente al cemento Portland puzolánico, ya que las partículas de la arena con los álcalis del cemento producen reacciones deletéreas, las cuales provocan pérdida de resistencia y cambios de volumen, lo cual reduce la durabilidad del mortero.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Guía para la durabilidad del hormigón*. EE.UU: Comité ACI 201, 2001. 59 p.
2. _____. *Manual de inspección del hormigón*. 7a ed. EE.UU: Comité ACI 311, 1985. 468 p. Publicación.
3. _____. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. EE.UU: Comité ACI 318, 2005. 495 p.
4. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán. *Cartilla de Educación Ambiental sobre la Cuenca y el lago de Amatitlán*. Guatemala: Unidad de Educación Ambiental, 2003. 39 p.
5. _____. *Plan Maestro de Manejo Integrado de la Cuenca y del lago de Amatitlán*. Guatemala: PLANDEAMAT, 2003, 74 p.
6. BALDIZON NAVARRO, Roger Lionel. *Estudio de la calidad de las aguas subterráneas en el valle aluvial del río Michatoya*. Trabajo de graduación de maestría en Ing. Sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 1976. 45 p.
7. Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. *Catálogo de normas técnicas guatemaltecas*. Guatemala: Coguanor, 2005.

8. Comité técnico AEN/CTN 146 Áridos, Asociación Española de Normalización y Certificación. *Norma española UNE-EN 1744-1: Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos, parte 1: análisis químico*. España: AENOR, 1999.
9. GONZÁLES CÁRDENAS, Elena. *Glosario de términos*. Área de Geografía Física, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Centro de Estudios de Castilla-La Mancha, Universidad de Castilla-La Mancha.
10. Instituto de Ingeniería Unam, Comisión Federal de Electricidad. *Manual de tecnología del concreto*. México: Limusa/ Noriega editores, 1994. 382 p.
11. KOSMATKA, Steven H. et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association, 2004. 468 p.
12. KUMAR MEHTA, P.; J.M. MONTEIRO, Paulo. *Concreto: estructura, propiedades y materiales*. México: Prentice-Hall, 1998. p. 390. ISBN 968-464-083-8.
13. MACHUCA GIL, Eduardo Enrique. *Evaluación y estudio del efecto en las propiedades físico, mecánicas y químicas derivadas de la interacción álcali-agregado con el cemento portland puzolánico norma ASTM C-1157, utilizando como agregado la arena procedente de la erupción del volcán de Pacaya en fecha 27 de mayo de 2010*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 234 p.

14. MÉNDEZ MORA, Ángela María. *Elaboración y ejemplificación de un sistema para la evaluación de proyectos mediante indicadores socioambientales en la cuenca del Lago de Amatitlán, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013. 207 p.
15. NEVILLE, Adam M. *Tecnología del concreto*. Tomo I. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1977. 440 p.
16. SIERRA LEMUS, Diana Carolina. *Sustancias reactivas nocivas en los agregados para concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 115 p.
17. VILLALTA GARCÍA, Sergio Estuardo. *Estudio y análisis físico, químico, mecánico y petrográfico de agregados para concreto estructural de los bancos de la trituradora "Morán", obtenidos en el río Ostúa, y trituradora "El Capullo" obtenidos en el río Tamazulapa; ubicados en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 168 p.
18. WADDELL, J.; DOBROWOLSKI, Joseph. *Manual de la construcción con concreto*. Tomo I. 3a ed. México: McGraw-Hill, 1997. 874 p.
19. YALIBAT, P.; IXCOT, Luis. *Valoración económica del lago de Amatitlán*. Guatemala: Flacso, 1998. 34 p.

20. ZACARÍAS SOLIS, Miriam Noemí. *Caracterización física, mecánica, química y petrográfica para agregados finos y gruesos extraídos del río Ocosito, en el departamento de Retalhuleu*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 102 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Contenido máximo de iones cloruro para la protección contra la corrosión del refuerzo del concreto armado**

Tipo de cemento	Contenido máximo de iones cloruro (Cl⁻) solubles en agua en el concreto, porcentaje en peso de cemento
Concreto preesforzado	0,06
Concreto reforzado que en servicio estará expuesto a cloruros	0,15
Concreto reforzado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1,00
Otras construcciones de concreto reforzado	0,30

Fuente: elaboración propia.

Cuando se ensayan los concretos para obtener su contenido de iones de cloruro solubles, deben hacerse ensayos en edades comprendidas de 28 a 42 días. Los límites establecidos en la tabla XXIV deben aplicarse a los cloruros aportados por los componentes del concreto y no a los del ambiente que rodea al concreto.

Apéndice 2. **Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos**

Exposición a sulfatos	Sulfato acuoso soluble (SO ₄) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) [*] en el agua, ppm	a/c en masa, máximo ^{AB}	Materiales cementicios requeridos
Clase 0	0,00 a 0,10	0 a 150	---	---
Clase 1	> 0,10 y < 0,20	> 150 y < 1 500	0,50 ^B	C-150 Tipo II o equivalente
Clase 2	0,20 a < 2,00	1 500 a < 10 000	0,45 ^B	C-150 Tipo V o equivalente
Clase 3	> 2,00	≥ 10 000	0,45 ^B	C-150 Tipo V más puzolana o escoria
Al agua de mar	---	---	^C	^C

Fuente: elaboración propia.

^{*} En informes de análisis químicos realizados, el sulfato expresado como SO₄ se relaciona con el sulfato expresado como SO₃ de la siguiente manera: SO₃% × 1,2 = SO₄%.

^A El Capítulo 4 del Código ACI 318 muestra los requisitos para condiciones de exposición especiales.

^B Los valores aplican para concreto de peso normal. También aplican al concreto estructural liviano, excepto que las máximas relaciones de agua-cemento requeridas (0,50; 0,45 y 0,40) se reemplacen por una resistencia a la compresión a los 28 días igual a 26, 29 y 33 MPa respectivamente.

^C Exposición al agua de mar: en algunas regiones del mundo el agua de mar está menos diluida. Sin embargo, los elementos que constituyen el agua del mar son prácticamente constantes.

ANEXOS

Anexo 1. Informe del análisis físico-químico de aguas residuales del río Michatoya



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



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO Y/O DESECHOS INDUSTRIALES No. 4121

Orden de trabajo No.: 34920		Informe No. 2175	
INTERESADO:	EDWIN WALDEMAR BARRIOS SALES, CARNÉ No. 2011-14461	PROYECTO:	Tesis: "Análisis y caracterización de las propiedades físicas y químicas de la arena procedente de un banco del Río Michatoya, aguas abajo del puente de la Gloria en Amatitlán"
MUESTRA CAPTADA POR:	Interesado	DEPENDENCIA:	FACULTAD DE INGENIERIA/USAC
MUESTRA CAPTADA EN:	Río Michatoya, Villas del Río	FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	2015-06-03; 07 h 30 min.
FUENTE:	Río Michatoya	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2015-06-03; 10 h 01 min.
MUNICIPIO:	Amatitlán	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	Sin refrigeración
DEPARTAMENTO:	Guatemala		

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

OLOR:	Lig. Séptico	SÓLIDOS SEDIMENTABLES:	0,01 cm ³ /litro en 1 hora
COLOR:	123,00 unidades	SÓLIDOS SUSPENDIDOS:	23,00 mg/L

DETERMINACIONES QUÍMICAS

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O. ₅):	10,50		mg/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O. ₅):	42,00		mg/L
FOSFATOS:	11,40	mg/L	
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):	08,17	unidades	
NITRATOS:	156,00		mg/L

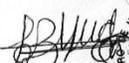
OTRAS DETERMINACIONES: TURBIDEZ 18,60 UTN

TÉCNICAS DEL "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A. - W.E.F. 21ST EDITION 2005. NORMA COGUANOR NGO 4.010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Guatemala, 2015-07-14

Vo.Bo. 
Inga Teina Marceda Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



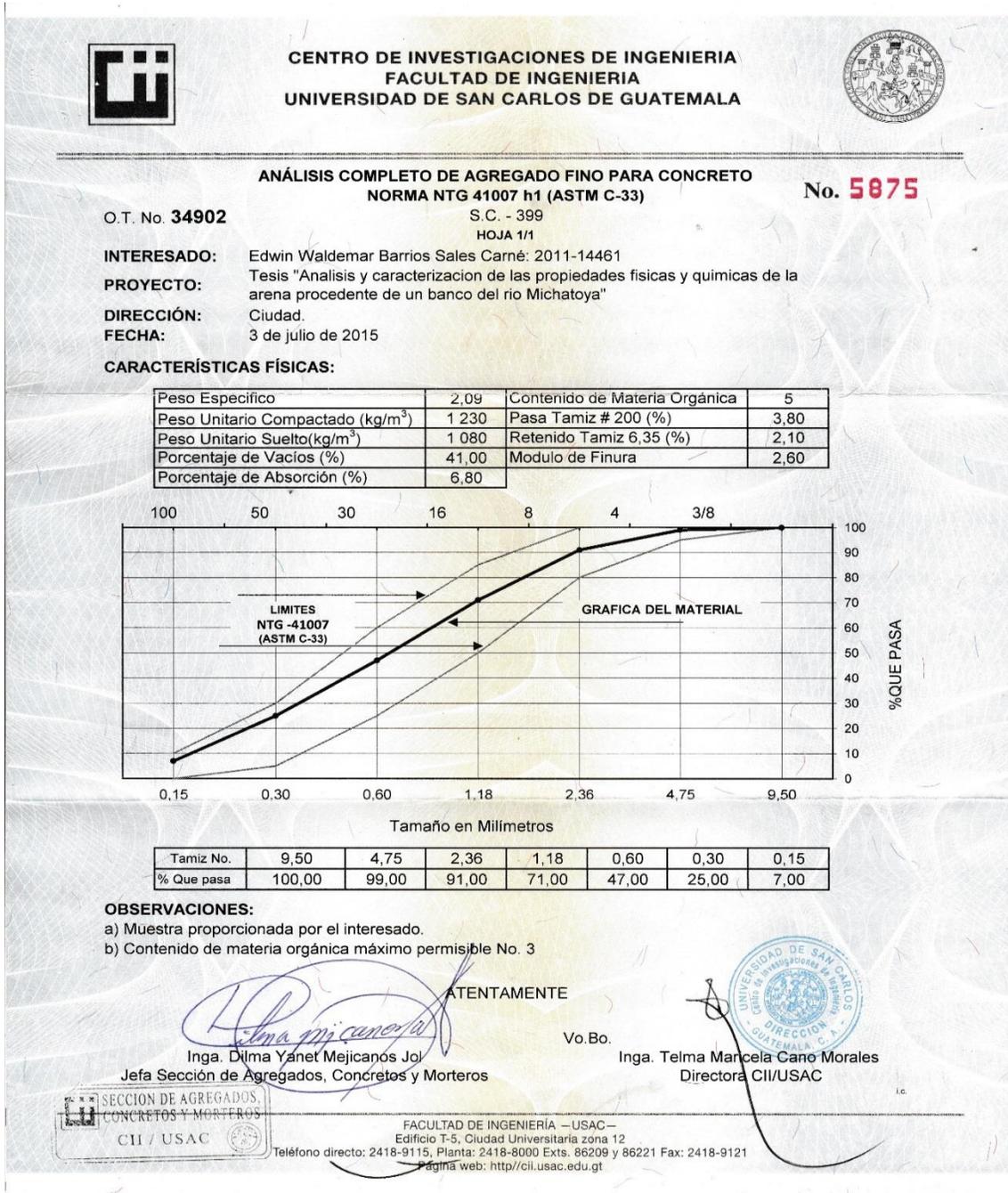

Zeynon Much Santos
Ing. Químico Col. No. 920
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-

Anexo 2. Informe del análisis completo de la arena del río Michatoya



Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-

Anexo 3. **Informe del ensayo de estabilidad volumétrica por ataque de sulfato de sodio**



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



O.T. No. 34903

Interesado: Edvin Waldemar Barrios Sales, Carné No. 2011-14461

Material: Agregado fino.

Proyecto: Tesis ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN

Dirección: Ciudad

Solución utilizada: Sulfato de Sodio

Fecha: 5 de agosto de 2015

**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO**

NORMA ASTM C-88

INFORME No. SC - 465

No. 5959

PASA	TAMAÑOS * RETENIDO	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	25,50	-----	-----	-----	-----
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	22,42	100,04	92,12	7,92	1,77
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	23,85	100,02	92,91	7,11	1,70
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	19,80	100,06	82,06	17,99	3,56
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	7,73	100,03	74,45	25,57	1,98
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	15,52	100,07	69,72	30,33	4,71
TOTALES		114,82	-----	-----	-----	13,72

OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Vo.Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director a.i. CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS

CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-.

Anexo 4. Informe del ensayo para la determinación de terrones de arcilla y partículas friables

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

**INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA
Y DE PARTICULAS FRIABLES** No. **5889**

O.T. No. 34905 S.C. - 412
HOJA 1/1

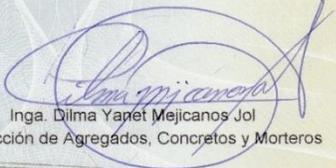
INTERESADO: Edvin Waldemar Barrios Sales, Carné No. 2011 14461.
PROYECTO: Tesis "Análisis y Caracterización de las Propiedades Físicas y Químicas de la Arena".
DIRECCIÓN: Procedente de un Banco del Río Michatoya, Aguas Abajo del..."
FECHA: 16 de julio de 2015

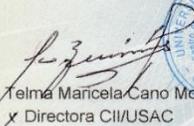
RESULTADO:

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Determinación de terrones de arcilla y partículas friables	ASTM C-142 NTG 41010 h10	5,40%

OBSERVACIONES:
a) Muestra de material: Arena del Río Michatoya.

ATENTAMENTE,


Inga Dilma Yapet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros


Vo.Bo. Inga Telma Maricela Cano Morales
x Directora CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-.

Anexo 5. **Informe del ensayo de reactividad álcali-agregado método de la barra de mortero**



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



No. 6389

INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA DE MORTERO

NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)

O.T. No. **34909** S.C. - 660

INTERESADO: Edvin Waldemar Barrios Sales, Carné: 2011 -14461

PROYECTO: Tesis ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN".

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 4 de noviembre de 2015

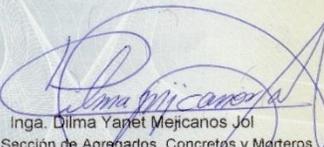
Resultados:

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 20 DÍAS		EXPANSIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
03/09/2015	6,4405	04/09/2015	6,4980	22/09/2015	6,6765	0,0714

Observaciones:

- Las lecturas de expansiones son el promedio de 4 muestras.
- Fecha de elaboración de barras de morteros: 02/09/2015.
- La proporción a utilizar para la fabricación de barras es 1 parte de cemento y 1,77 partes de agregado fino y 0,47 partes de agua.
- Se utilizo Cemento UGC.
- El valor limite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yajet Mejicanos Jól
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-

Anexo 6. Informe del ensayo a tensión de morteros



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



INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-190

No. 6390

O.T. No. 34919 S.C. - 661
HOJA 1/1

INTERESADO: Edwin Waldemar Barrios Sales, Carné: 2011 -14461

PROYECTO: Tesis ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 4 de noviembre de 2015

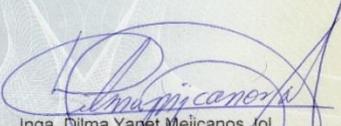
RESISTENCIA A LA TENSIÓN

No. BRIQUETA	FECHA DE HECHURA	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	01/09/2015	3	6,452	305	2,10	310
2	01/09/2015	7	6,452	345	2,40	350
3	01/09/2015	28	6,452	490	3,40	490

OBSERVACIONES:

- a) La mezcla corresponde a análisis de arena proporcionada por el interesado.
- b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura de carga: 60 000 libras.
- c) Flujo de la mezcla: 114
- d) Proporciones de mezcla: 1:1,77:0,47

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concreto y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-

Anexo 7. Informe del ensayo a compresión de morteros



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)

No. 6391

O.T. No. **34919**

S.C. - 662
HOJA 1/1

INTERESADO: Edvin Waldemar Barrios Sales, Carné: 2011 -14461

PROYECTO: Tesis ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RÍO MICHATOYA, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE LA GLORIA EN AMATITLÁN.

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 3 de noviembre de 2015

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE HECHURA	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	01/09/2015	3	26,384	8 800	14,80	2 150
2	01/09/2015	7	26,264	10 900	18,50	2 680
3	01/09/2015	28	26,739	11 500	19,10	2 770

OBSERVACIONES:

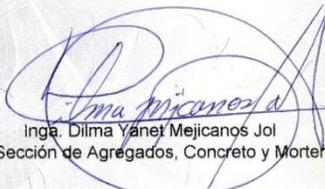
a) La mezcla corresponde a análisis de arena proporcionada por el interesado.

b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura de carga: 60 000 libras.

c) Flujo de la mezcla: **114**

d) Proporciones de mezcla: 1:1,77:0,47

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yáñez Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concreto y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

L.L.

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-.

Anexo 8. Informe de la determinación de reactividad potencial de agregados método químico



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



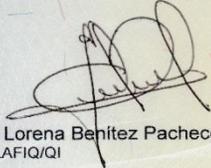
Determinación de Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-389-07 No. 0658

Identificación LAFIQ	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Sílice Disuelta SC (mmol/L)	RESULTADO
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-332-004-15 	4307,0 ± 313,9	< 1,0	**

* Muestra proporcionadas por el interesado

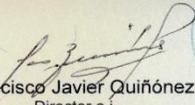
Grafica Adjunta.

OBSERVACIONES **
 En vista que la Reactividad Potencial presenta demasiada Reducción alcalina, y el resultado de Sílice disuelta quedo fuera del Rango Fotométrico de la norma. Se recomienda hacer el ensayo Materia Orgánica ASTM C-40 y/o evaluar las normas ASTM C-277 y ASTM C-1260.



Licda. Ingrid Lorena Benitez Pacheco
Coordinadora LAFIQ/QI





Vo.Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director a.i
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

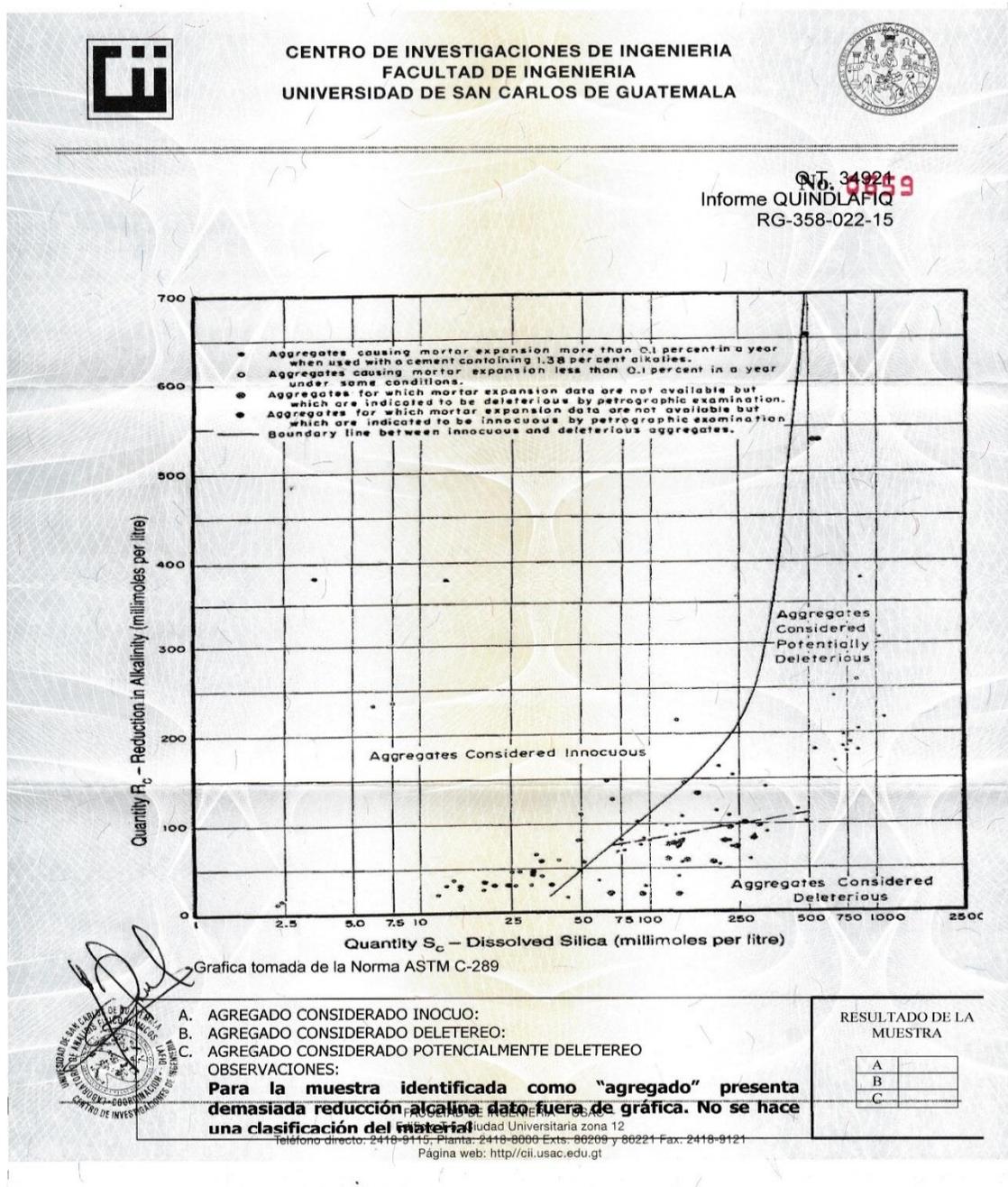


Adjunto gráfica.

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-.

Anexo 9. Gráfica para la determinación de agregados inocuos y deletéreos



Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-

Anexo 10. Informe de la determinación del contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua por volumetría



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



No. 0657
O.T. No.34921
USAC-CII-QUIND-LAFIQ-
RG-358-022-15

Interesado: Edwin Waldemar Barrio Sales
 Proyecto: Tesis ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA PROCEDENTE DE UN BANCO DEL RIO MICHATOYA
 Muestra: Una muestra de agregado
 Fecha de informe: Guatemala, 21 de julio de 2015

Determinación del contenido de cloruros solubles en agua por volumetría

Identificación LAFIQ	Identificación Interesado*	Resultado (Cl ⁻) [ppm]
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-052-15	Tamizado 50 retenido 100	25113 ± 107

* Muestras proporcionadas por el interesado

Determinación del contenido de sulfatos solubles en agua por volumetría.

Identificación LAFIQ	Identificación Interesado*	Resultado (SO ₄ ²⁻) [ppm]
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-052-15	Tamizado 50 retenido 100	< 725

* Muestras proporcionadas por el interesado

Determinación del contenido de humedad

Identificación LAFIQ	Identificación Interesado*	Resultado [%]
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-052-15	Húmedo	11 ± 2

* Muestra proporcionadas por el interesado

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Facultad de Ingeniería -USAC-