



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

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO  
FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA  
CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**

**Brandon Edevaír Estrada Taracena**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO  
FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA  
CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BRANDON EDEVAÍR ESTRADA TARACENA**  
ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO  
FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA  
CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de abril de 2018.

**Brandon Edevaír Estrada Taracena**



Guatemala, 23 de febrero de 2021

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y OBRAS CIVILES  
COORDINADOR

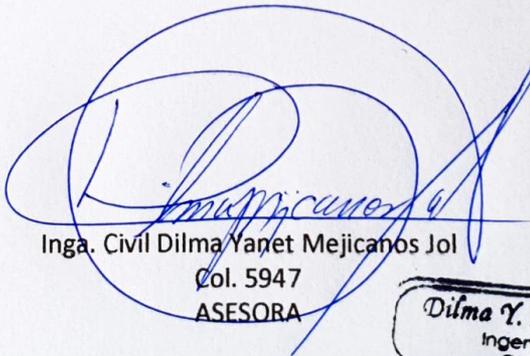
Ingeniero Montenegro Franco

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**, elaborado con el estudiante universitario Brandon Edevair Estrada Taracena, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Estrada Taracena, 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





Guatemala, 24 marzo de 2021

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes,

Le informo que he revisado el trabajo de graduación “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN”, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Brandon Edevaír Estrada Tararena, quién 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. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Coordinador del área de Materiales de Construcción y obras civiles

FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC





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 Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco al trabajo de graduación del estudiante Brandon Edevaír Estrada Taracena **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca  
Director Escuela Ingeniería Civil

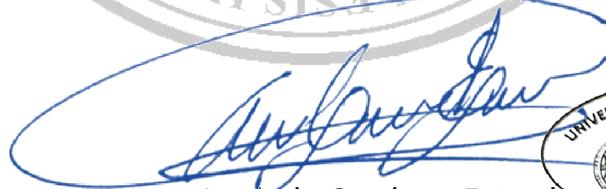
Guatemala, mayo 2021  
/mrrm.



DTG. 227.2021

La Decana 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: **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO PROVENIENTE DEL RÍO MOTAGUA, EN LA ALTURA DEL KM. 84 EN LA CARRETERA JACOBO ÁRBENZ GUZMÁN**, presentado por el estudiante universitario: **Brandon Edevaír Estrada Taracena**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Quien me ha dado el soplo de vida; quien me ha demostrado el amor verdadero e incondicional más puro. Contigo lo puedo todo, porque me fortaleces y me acompañas siempre.
- Virgen María** Por ser mi intercesora por excelencia y velar por mi familia, amigos y por mí en todo momento.
- Mis padres** Edith Marisol Taracena Noriega y Rudy Manfredo Estrada Muy, por su infinito amor y apoyo incondicional; gracias por ser los pilares fundamentales en mi vida. Sin ustedes no habría logrado nada, los amo.
- Mis hermanos** Cindy Edith y Jason Manfredo Estrada, por ser mi inspiración y ejemplo de vida; son los mejores, los amo.
- Mis abuelos** Antonio Taracena Villatoro (q. e. p. d.) y Edelmira Irene Noriega Herrera, por su amor y sabios consejos.
- Mi tío** Julián Cruz Román (q. e. p. d.), por sus infinitas enseñanzas y enorme ejemplo de vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi *alma máter*.

**Facultad de Ingeniería**

Por formarme como Ingeniero Civil.

**Inga. Dilma Yanet  
Mejicanos Jol**

Por confiar en mí y por todo el apoyo brindado a lo largo de este trabajo de investigación; gracias por su amistad y por todos sus consejos.

**Sección de Agregados,  
Concretos y Morteros**

Ing. Iván Cano, Ing. Julio Alvarez, Elder Ramos, Luis Lucero y Melany Barillas, por su valiosa amistad y colaboración en la realización de este trabajo de graduación.

**Centro de  
Investigaciones de  
Ingeniería**

Por haberme permitido realizar todos los ensayos para elaborar mi trabajo de graduación.

**Mis amigos**

Por siempre permanecer juntos a pesar de las adversidades y apoyarnos en todo momento; especialmente a Hannah Orozco, Daniel Rodas, Fernando Sequén, Betzabé Sitán, Edgar Ramos, Lurdes Manzano, Jesús Oliva, Diana Gaytan, Julio De La Cruz, Norma Carías, Darlyn Pineda y Jhoseline Saucedo.



1.3.	Ensayos para determinar las características físicas de los agregados finos.....	9
1.3.1.	Análisis granulométrico del agregado fino, según Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136) .....	11
1.3.2.	Determinación de masa unitaria e índice de vacíos del agregado fino, según Norma NTG 41010 h2 (ASTM C-29) .....	12
1.3.3.	Estabilidad a la disgregación mediante el uso del sulfato de sodio o magnesio del agregado fino, según Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88) .....	13
1.3.4.	Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de agua del agregado fino, según Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128) .....	14
1.4.	Sustancias dañinas en los agregados.....	16
1.4.1.	Impurezas orgánicas en los agregados.....	17
1.5.	Ensayos para sustancias dañinas en los agregados.....	18
1.5.1.	Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, según Norma NTG 41010 h3 (ASTM C-117) .....	19
1.5.2.	Determinación de las impurezas en los agregados finos para concreto, según Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40) .....	20
1.6.	Ensayos para determinar la reacción álcali-sílice .....	20
1.6.1.	Estudio petrográfico de los agregados para concreto, según Norma NTG 41088 (ASTM C-295) .....	22
1.6.1.1.	Toma de muestra, según Norma NTG 41009 (ASTM D-75) .....	23
1.6.1.2.	Selección de la muestra .....	25

	1.6.1.3.	Análisis de los agregados naturales ....	25
	1.6.1.4.	Cálculos.....	26
	1.6.1.5.	Informes.....	27
	1.6.2.	Determinación de la reactividad potencial álcali- sílice en los agregados, método químico; según Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289) .....	28
	1.6.2.1.	Procedimiento.....	28
	1.6.2.2.	Interpretación de resultados .....	29
	1.6.3.	Determinación de la reactividad potencial álcali- sílice en los agregados, método de la barra de mortero; según Norma NTG 41010 h14 (ASTM C- 1260) .....	30
2.		DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	33
	2.1.	Localización del banco en estudio.....	33
	2.2.	Área tributaria de la cuenca al banco en estudio.....	34
	2.3.	Materiales.....	36
	2.3.1.	Arena de río.....	36
		2.3.1.1. Toma de muestras.....	37
		2.3.1.2. Preparación de las muestras .....	38
	2.3.2.	Cemento .....	38
	2.4.	Ensayos físicos.....	38
	2.5.	Ensayos químicos y petrográficos .....	40
	2.6.	Ensayos mecánicos.....	41
3.		TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
	3.1.	Ensayos físicos.....	45
		3.1.1. Análisis granulométricos.....	45

3.1.2.	Estabilidad a la disgregación por uso de sulfato de sodio.....	48
3.2.	Ensayos químicos y petrográficos.....	50
3.2.1.	Estudio petrográfico .....	50
3.2.2.	Reactividad potencial álcali-sílice mediante el método químico.....	56
3.3.	Ensayos mecánicos .....	58
3.3.1.	Reactividad potencial álcali-sílice mediante el método de la barra de mortero .....	58
3.3.2.	Ensayo de cubos de mortero a compresión .....	59
CONCLUSIONES.....		63
RECOMENDACIONES .....		65
BIBLIOGRAFÍA.....		67
APÉNDICE .....		69
ANEXOS.....		71

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Condiciones de humedad de los agregados .....	16
2.	Localización del banco .....	33
3.	Visualización del banco.....	34
4.	Mapa del área tributaria de la cuenca el Motagua al banco .....	35
5.	Arena extraída del río Motagua .....	36
6.	Muestreo de la arena .....	37
7.	Elaboración de ensayos físicos .....	39
8.	Muestras de la arena empleada para el estudio petrográfico.....	40
9.	Cubos ensayados a las edades establecidas .....	43
10.	Medición de expansión o contracción de barra de mortero.....	43
11.	Granulometría de la arena procedente del río Motagua.....	46
12.	Distribución de las diferentes partículas de la arena .....	53
13.	Porcentaje de las diferentes partículas de la arena .....	53

### TABLAS

I.	Características fisicoquímicas del agua del río Motagua en el período de febrero a octubre de 2019.....	4
II.	Ensayos para la caracterización de los agregados finos.....	9
III.	Límites granulométricos del agregado fino.....	11
IV.	Límites para sustancias perjudiciales en el agregado fino para concreto .....	17
V.	Ensayos para sustancias dañinas en los agregados.....	18

VI.	Métodos de ensayo para la reactividad álcali-sílice .....	21
VII.	Tamaños mínimos de muestras para el estudio petrográfico .....	24
VIII.	Requisitos de graduación de los agregados .....	31
IX.	Proporciones de mezcla empleadas para cubos de mortero .....	41
X.	Proporción utilizada para las barras de mortero .....	42
XI.	Características físicas de la arena proveniente del río Motagua .....	46
XII.	Datos del ensayo de estabilidad a la disgregación por uso de sulfato de sodio de la arena del río Motagua.....	49
XIII.	Porcentaje de material retenido en cada tamiz.....	50
XIV.	Partículas de rocas y minerales que conforman la arena .....	51
XV.	Porcentaje de partículas de rocas y minerales por tamiz.....	51
XVI.	Resultado del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice .....	57
XVII.	Resultados del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice mediante el método de la barra de mortero.....	58
XVIII.	Resultados de ensayo a compresión de M1 .....	60
XIX.	Resultados de ensayo a compresión de M2 .....	60
XX.	Resultados de ensayo a compresión de M3 .....	60

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ca</b>	Calcio
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>° , ' , ''</b>	Grado, minuto, segundo
<b>g</b>	Gramo
<b>Fe</b>	Hierro
<b>h</b>	Hora
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>lb</b>	Libra
<b>lb/plg<sup>2</sup></b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>LMA</b>	Límite máximo aceptable
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>Mg</b>	Magnesio
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>±</b>	Más menos
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m</b>	Metro
<b>µm</b>	Micrómetro (1x10 <sup>-6</sup> m)
<b>µS/cm</b>	Microsiemens por centímetro

<b>mg</b>	Miligramo
<b>mg/L</b>	Miligramo por litro
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mmol/L</b>	Milimol por litro
<b>min</b>	Minuto
<b>Ni</b>	Níquel
<b>N°, No.</b>	Número
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Óxido de potasio
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Óxido de silicio
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	Óxido de sodio
<b>Pt/Co</b>	Platino/Cobalto
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>“, pulg</b>	Pulgada
<b>Rc</b>	Reducción alcalina
<b>sss</b>	Saturada de superficie seca
<b>s</b>	Seca al horno
<b>Sc</b>	Sílice Disuelta
<b>SiO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	Sulfato
<b>UNT</b>	Unidades Nefelométricas de Turbiedad

## GLOSARIO

<b>Aglomerante</b>	Material que al entrar en contacto con el agua, adquiere la propiedad de unir materiales o partículas entre sí, mediante un proceso de fraguado.
<b>Álcalis</b>	Carbonatos, hidróxidos y óxidos que se forman a partir del contacto de elementos de metales alcalinos con el agua.
<b>Andesita</b>	Roca ígnea extrusiva y subvolcánica, de textura porfídica comúnmente, mineralógicamente se compone de anfíbol, plagioclasas y piroxenos.
<b>Arcilla</b>	Se genera por procesos de erosión, digénesis y meteorización; componente principal de rocas sedimentarias de grano fino llamadas lodolitas.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés <i>American Society for Testing and Materials</i> , Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales.
<b>Cantera</b>	Explotación minera que se da generalmente a cielo abierto, de donde se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.

<b>Colorímetro</b>	Consiste en cinco vidrios de colores estándar montados en un soporte plástico. El color estándar No. 3, Gardner No. 11, es el máximo permisible según norma.
<b>Concreto</b>	Básicamente es la mezcla entre agregados y pasta; en donde la pasta se conforma por un aglomerante y agua, y los agregados están formados por arena y piedrín.
<b>Cuarzo</b>	Mineral formado por sílice, posee un brillo vítreo e incoloro en estado puro. El color depende directamente de las demás sustancias con las que se mezcle.
<b>Deletéreo</b>	Clasificación o designación que reciben aquellos materiales de origen pétreo que contienen sustancias nocivas, que al emplearlos como agregados para concreto son perjudiciales para la durabilidad del mismo.
<b>Esquisto</b>	Es una roca metamórfica de grano medio a grueso en las cuales predominan los minerales laminados o micáceos.
<b>Exudación</b>	Acumulación de agua en la superficie de un concreto, que se encuentra en la fase de endurecimiento, como consecuencia de haber sido amasada con un exceso de agua.

<b>Feldespatos</b>	Corresponde a un grupo de minerales que forman unas series de soluciones sólidas; son formadores de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
<b>Fraguado</b>	Proceso exotérmico mediante el cual el concreto adquiere consistencia y endurecimiento.
<b>Heterogeneidad</b>	Grupo o conjunto compuesto por varios elementos diferentes y distinguibles a simple vista; que forman, a su vez, parte del mismo conjunto, mezcla o grupo.
<b>Ictiológico</b>	Referente a la ictiología; es decir, a la rama de la zoología que se dedica al estudio de los peces.
<b>Inocuo</b>	Clasificación o designación que reciben aquellos materiales de origen pétreo que no contienen sustancias nocivas, que al emplearlos como agregados para concreto no son perjudiciales para la durabilidad del mismo.
<b>Limo</b>	Sedimento conformado 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.
<b>Marga</b>	Es un tipo de roca sedimentaria que se compone principalmente por calcita y arcillas, de color blanquecino con tonos que varían de acuerdo con las diferentes composiciones minerales.

<b>Micas</b>	Minerales que pertenecen al grupo de los silicatos, se forman a manera de finas capas; se caracterizan por ser finos y blandos.
<b>Mortero</b>	Mezcla de aglomerantes, agregado fino (arena) y agua; en ocasiones puede contener algún aditivo.
<b>NTG</b>	Norma Técnica Guatemalteca.
<b>Olivino</b>	Mineral de magnesio y hierro, perteneciente a la clase de los silicatos, se origina de magmas ultramáficos principalmente. Los colores varían dependiendo la concentración de magnesio y hierro, siendo estos verdosos y marrones respectivamente.
<b>Piroxeno</b>	Grupo de minerales más significativos y abundantes de silicatos ferromagnesianos que forman, por lo general, rocas oscuras. Se forman en rocas ígneas y metamórficas a condiciones de alta presión y temperatura.
<b>Plagioclasa</b>	Mineral del grupo de los silicatos, siendo un silicato aluminico de calcio y sodio, formador de rocas ígneas. De color blanco grisáceo, posee un brillo vítreo perlado.
<b>Pómez</b>	Es una roca ígnea volcánica que se caracteriza por ser altamente porosa y de densidad muy baja; tiene una textura vesicular.

<b>RAS</b>	Reacción Álcali-Sílice.
<b>Sílice</b>	Compuesto de silicio y oxígeno; en la naturaleza puede encontrarse en forma de cuarzo.
<b>Vidrio volcánico</b>	Producto de lavas félsicas de extrusión, se enfrían rápidamente. Generalmente su composición tiene altos contenidos de sílice. Tiene apariencia transparente o incolora.



## RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación muestra el análisis de las características físicas, químicas y también de las propiedades mecánicas del agregado fino proveniente de un banco del río Motagua, en El Rancho, aldea del municipio de San Agustín Acasaguastlán, en el departamento de El Progreso, con la finalidad de determinar si es apropiada para su implementación en el área de la construcción; comparando los resultados obtenidos en las diferentes pruebas y ensayos realizados con las especificaciones y parámetros permisibles en las normas NTG y ASTM aplicables.

Para llevar a cabo la investigación se tomó una muestra de agregado fino, la cual, fue llevada a las instalaciones del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en el edificio Emilio Beltranena, y al Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas; en donde se realizaron las diferentes pruebas y ensayos a la muestra, para determinar posteriormente las características físicas, químicas, petrográficas y las propiedades mecánicas de la misma. Los ensayos practicados a la arena extraída del río Motagua fueron los siguientes: análisis físico completo, estabilidad a la disgregación por uso de sulfato de sodio, reactividad álcali-sílice por el método químico, estudio petrográfico, reactividad álcali-agregado mediante barras de mortero y, finalmente, el ensayo a compresión de morteros.

Los resultados obtenidos muestran que la implementación de la arena del río Motagua en el área de la construcción, es decir; en morteros de cemento y mezclas de concreto es apropiada. Con base en los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas se logró determinar dicha conclusión.

Es importante mencionar que, para cada banco de agregado extraído del río Motagua, es imprescindible realizar los ensayos respectivos periódicamente para determinar su calidad. Ya que, el río al estar en un flujo constante, continuamente pueden ir cambiando las características físicas y químicas del agregado contenido en él.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Caracterizar física, química y mecánicamente el agregado fino proveniente del río Motagua, en El Rancho, aldea del municipio de San Agustín Acasaguastlán, en el departamento de El Progreso, para determinar si es apropiada al ser empleada en la construcción.

### **Específicos**

1. Analizar las características físicas del agregado fino del río Motagua y posteriormente comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).
2. Determinar la estabilidad a la disgregación del agregado fino del río Motagua, empleando el método de ensayo de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88).
3. Analizar y determinar la reactividad potencial álcali-sílice en la arena, por medio del método químico de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289).
4. Observar y analizar el comportamiento de la reacción potencial álcali-sílice en la arena, empleando el método de la barra de mortero de acuerdo a la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260).

5. Determinar la resistencia a la compresión de los diferentes tipos de morteros de cemento, a las edades de 7, 14 y 28 días; según la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C-109).

## INTRODUCCIÓN

Para la realización de mezclas de concreto o morteros de cemento es indispensable la calidad del agregado fino; debido a que el río Motagua es uno de los ríos más grandes y caudalosos de Guatemala, el asolvamiento ha producido enormes bancos de arena a lo largo de su cauce, que han sido explotados por pobladores e incluso empresas para su comercialización.

El punto principal de este trabajo de investigación se basa fundamentalmente en lo descrito anteriormente, el cual consiste en analizar las características físicas, químicas y las propiedades mecánicas del agregado fino del río Motagua, mediante la realización de ensayos de laboratorio con las normas respectivas y actualizadas, de manera que se logre determinar si la contaminación que posee el río incide en las características y el comportamiento de la arena al ser empleada en mezclas de concreto o morteros, para su posterior uso en la construcción.

A lo largo del primer capítulo se describe de manera detallada las generalidades sobre el río Motagua, las fuentes y tipos de contaminación del mismo. También se presentan aspectos generales de los agregados; se describen teóricamente y de manera general las normas que se emplearon para la realización de los ensayos contenidos en el segundo capítulo.

En el segundo capítulo se muestra la localización del banco en estudio y el área de la cuenca del río Motagua, que tributa hasta el punto de extracción de la muestra, banco en estudio. Asimismo, se describen todos los procedimientos que se realizaron en cada uno de los ensayos del desarrollo experimental de esta

investigación. Finalmente, en el último capítulo, se tabulan, analizan y posteriormente se comparan los resultados obtenidos, en los diferentes ensayos realizados a la arena proveniente del río Motagua, con las especificaciones que se establecen en cada una de las normas, respectivas a cada ensayo.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Río Motagua**

El río Motagua es uno de los principales de Guatemala, el cual nace cerca de Santo Tomás Chichicastenango en el departamento de Quiché, y atraviesa todo el centro del país en dirección hacia el Este, pasando por los departamentos de Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa y finalmente en Izabal, desembocando en la Bahía de Omoa, cerca de la frontera con Honduras.

### **1.1.1. Generalidades sobre el río Motagua**

Es muy importante recopilar toda la información posible a cerca del río Motagua, desde su ubicación, la cuenca a la que pertenece, los usos que se le están dando actualmente al río, hasta el tipo de contaminación que posee. Por lo anterior, se presentan a continuación las generalidades sobre el río Motagua.

#### **1.1.1.1. Ubicación del río Motagua**

Se encuentra localizado geográficamente entre los límites 14° 56' y 15° 43' latitud Norte y 88° 13' y 91° 0' longitud Oeste respecto al Meridiano de Greenwich.

#### **1.1.1.2. Descripción del río y su cuenca**

El río Motagua es el cauce principal de la cuenca del mismo nombre, la cual tiene un área de 12 670 km<sup>2</sup> y ocupa alrededor del 8,5 % del total del país, extendiéndose de occidente a oriente; esta cuenca es considerada una de las

más grandes del país, ya que comprende parte de los departamentos de Quiché, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Baja Verapaz, El Progreso, Jalapa, Zacapa e Izabal. La longitud del curso del río es de aproximadamente 487 km.

Desde su nacimiento en el municipio de Chiché, ubicado en el altiplano del departamento de Quiché, el río Motagua tiene un descenso de casi 2 000 m en una distancia aproximada de 190 km en su curso general hacia el noreste hasta Gualán. Luego de este punto, su curso es lento y sus aguas son profundas, y se ensancha a medida que avanza hacia el mar. La pendiente promedio del cauce principal es de 0,51 %.

Dentro del área que abarca la cuenca, se cultiva principalmente banano, maíz y frijol. Dentro de la producción minera se encuentran las explotaciones de manganeso, cromo, mármol, fluorita, oro, cristal de roca, asbesto, plata, hierro y zinc.

Las tierras de vocación forestal pertenecientes al área de la cuenca, poseen un área de 2 545 km<sup>2</sup>, mientras que los bosques asociados a diferentes usos suman 5 970 km<sup>2</sup>. Con respecto a la capacidad agrícola del suelo dentro de la cuenca, esta es altamente susceptible a la erosión, ya que posee pendientes que varían de 32 a 45 %.

La estructura del suelo es de bloques subangulares, la textura que predomina en el suelo es franca y franca arcillosa, mientras que la consistencia de este es de suave a friable en seco, y de friable a ligeramente dura en condiciones de humedad.

### **1.1.1.3. Usos actuales del río**

Para el riego agrícola se emplea parte del caudal del río, sin embargo, sus aguas actúan como cuerpo receptor de las aguas servidas de las comunidades circundantes a la cuenca y subcuencas del río Motagua, estando incluida parte de la Ciudad de Guatemala. Es de suma importancia el papel que toma el río Motagua al ser receptor, ya que funciona como transporte de contaminantes hacia las poblaciones situadas en la parte baja del cauce del río, así también sobre los recursos ictiológicos del mismo.

### **1.1.1.4. Fuentes de contaminación del río**

Las poblaciones que se localizan en áreas aledañas a la cuenca del río descargan sus aguas de origen doméstico e industrial, sin ningún tipo de tratamiento en el río Motagua; además, algunos municipios dentro del área tienen la costumbre de descargar los desechos sólidos en el río o en sus afluentes, teniendo como consecuencia que el cauce del río arrastre gran cantidad de material orgánico, productos plásticos, papeles, cartones e incluso llantas usadas, contaminantes todos.

Asimismo, el río Las Vacas, que es uno de los ríos tributarios del río Motagua, está formado en su mayoría por aguas servidas de las viviendas e industrias localizadas en la vertiente norte del valle de la ciudad capital. Se estima que este caudal representa alrededor del 60 % de los desagües de la ciudad capital y de los municipios en sus alrededores. Dentro de los municipios que descargan parcial o totalmente sus aguas servidas en el río Las Vacas, se encuentran: Mixco, San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez, San Lucas Sacatepéquez, San Raymundo, San Pedro Ayampuc, Chinautla y la parte norte de la Ciudad de Guatemala.

### 1.1.1.5. Características físicas y químicas del agua del río Motagua

A continuación, en la tabla I, se muestran las características fisicoquímicas más relevantes del agua superficial del río Motagua.

Tabla I. Características fisicoquímicas del agua del río Motagua en el período de febrero a octubre de 2019

Lugar de toma de muestra	Color		Turbiedad		Conductividad eléctrica		pH	
Unidades	Pt/Co		UNT		µS/cm		Unidades	
Valor guía	LMA	LMP	LMA	LMP	LMA	LMP	LMA	LMP
		5,00	35,00	5,00	15,00	750	1 500	7,0-7,5
Est. H. Concuá II	68,50		39,90		241,15		8,23	
Est. H. Morales	77,00		973,50		320,60		8,05	
Est. H. Gualán	82,00		1 077,50		418,20		8,15	
Lugar de toma de muestra	Sulfatos		Cloruros		Sólidos totales disueltos		Cianuro liberado	
Unidades	mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
Valor guía	LMA	LMP	LMA	LMP	LMA	LMP	LMA	LMP
	100,0	250,0	100,0	250,0	500,0	1 000,0	Sin norma	0,070
Est. H. Concuá II	7,5		7,9		141,2		0,0020	
Est. H. Morales	28,0		12,0		191,0		0,0042	
Est. H. Gualán	36,5		18,3		253,1		0,0076	

Fuente: INSIVUMEH. *Boletín No. 22, (2019).* p. 114.

De acuerdo a lo que se observa en la tabla I, el agua del río Motagua no cumple con los límites establecidos en la Norma NTG 29001 en uno o más parámetros. Es por ello, que el agua de este río no es apta para el consumo humano y es necesario realizar un tratamiento previo de potabilización para su consumo.

### **1.1.2. Tipos de contaminación en el río Motagua**

Los contaminantes existentes en el río Motagua se pueden agrupar en dos sectores: el primero agrupa los contaminantes que provienen de materia orgánica, denominado como contaminación biológica. Al segundo sector se le denomina contaminación química, la cual es provocada por compuestos químicos provenientes de desechos domésticos, industriales y agrícolas.

#### **1.1.2.1. Contaminación biológica**

Por lo general, es la principal causa de contaminación que existe en los ríos. Una de las causas de contaminación se debe a los desechos de las aguas servidas que son directamente vertidas a las aguas del río sin ningún tratamiento previo. Otra de las causas significativas de contaminación de tipo biológica es aquella proveniente de todas las fábricas, granjas avícolas, trapiches, ingenios, entre otros que se localizan a lo largo del río y cuyo sistema sanitario generalmente desaguan hacia las aguas superficiales del río.

#### **1.1.2.2. Contaminación química**

Este tipo de contaminación proviene principalmente de los desechos industriales de aquellas fábricas con diversos tipos de productos que se encuentran en las cercanías del río. Dichas empresas representan un peligro

potencial para los habitantes de las zonas aledañas al río, ya que, pueden generar desechos tóxicos tales como: cromo, plomo, plaguicidas y detergentes.

## **1.2. Fuentes de abastecimiento de agregados para la ciudad de Guatemala**

En la actualidad, con el transcurrir de los días, van surgiendo nuevos proyectos de construcción, desde bases para nuevas carreteras, condominios, puentes, hasta la construcción de edificios, entre otros. Por tal motivo, se vuelve indispensable conocer las fuentes más importantes de abastecimiento de los diferentes agregados, según sea la aplicación requerida.

### **1.2.1. Agregados finos de río**

Existe una gran diversidad de ferreterías, fábricas, empresas, e incluso constructoras que se dedican a la extracción, producción y comercialización de agregados. Sin embargo, la comercialización del agregado fino o arena, proveniente de ríos es la más común.

Esta materia prima extraída de ríos naturales no requiere de ningún proceso de trituración. Aunque hay algunas empresas grandes que su forma de extracción es más industrial, en su mayoría, la forma de extracción de la arena de río es de forma artesanal. Sin embargo, la arena que comercializan en gran cantidad de ferreterías proviene de ríos contaminados.

Realmente son muy pocas las fábricas que hacen ensayos de calidad o le dan algún tratamiento extra a la arena proveniente de ríos; el lavado del material, el cernido para eliminar materiales orgánicos u otro tipo de elementos son algunos ejemplos que se pueden mencionar.

Las arenas provenientes de ríos tienen una amplia gama de usos; puede usarse para losas, zapatas, soleras, pavimentos, entre muchas más aplicaciones que requieran de agregados de una calidad moderada. Para este tipo de agregados, generalmente, su aplicación es recomendada para usos no estructurales.

### **1.2.2. Agregados finos de cantera**

Como se conoce, una cantera es una forma de explotación minera en donde la principal particularidad es que se trata de un espacio a cielo abierto, por decirlo de una manera general.

Los agregados finos de cantera normalmente son agregados de calidad, con control y especificaciones moderadas. Para este tipo de agregado, se va reduciendo la cantidad de lugares que comercializan su venta. No en cualquier ferretería o venta de materiales para la construcción, se puede encontrar arena de cantera.

Los bancos de materia prima de donde los extraen y también los procesos que requieren para la extracción de éstos agregados, provocan como resultado final, materiales diseñados para cumplir con especificaciones residenciales y de carácter no industrial. Cabe mencionar que por su origen y la forma en que se producen estos agregados, generalmente, presentan superficies ásperas; por lo que es necesario realizar un diseño de mezcla adecuado para cuando se desee usar para acabados lisos.

Al igual que la arena de río, los agregados finos de cantera pueden emplearse en la realización de una gran cantidad de elementos de concreto, sin

embargo, su uso también debe limitarse a aplicaciones no estructurales; a menos que sea respaldada su calidad a través de ensayos de laboratorio.

### **1.2.3. Agregados finos triturados**

Las arenas trituradas, en su mayoría, son agregados de alta calidad y que pueden llegar a cumplir con especificaciones internacionales. Éstos agregados son elaborados a partir de materia prima que, puede ser extraída de ríos naturales, o bien, de canteras a cielo abierto.

En Guatemala existen algunas empresas, que se dedican a la producción y comercialización de agregados finos y gruesos triturados. Su venta de manera general puede darse en diversidad de ferreterías o en lugares relacionados a la venta de materiales de construcción, bajo la marca de la empresa que lo comercializa. Sin embargo, si su consumo será masivo, sí será necesario abocarse directamente con la empresa seleccionada.

A diferencia de los agregados de río y de cantera, los agregados triturados pueden emplearse en aplicaciones que requieran una alta especificación y calidad. Dentro de los beneficios que posee la utilización de la arena triturada en mezclas de concreto puede mencionarse la reducción en el consumo de cemento, lo que incurre en una reducción de costos. De manera general, trae muchos beneficios la implementación de los agregados finos triturados en las diversas aplicaciones afines al concreto.

Es sumamente importante tomar en cuenta todas las características, ventajas, desventajas y toda aquella información necesaria para decidir de manera adecuada, cuál sería el mejor tipo de agregado de acuerdo con las

especificaciones requeridas del proyecto, y de esta forma, optimizar tiempo y recursos.

### 1.3. Ensayos para determinar las características físicas de los agregados finos

La Norma NTG 41007 (ASTM C-33), es la empleada para determinar la calidad de los agregados finos para su utilización en el concreto.

Los ensayos más importantes utilizados en la caracterización de los agregados finos para concreto se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Ensayos para la caracterización de los agregados finos**

<b>Característica</b>	<b>Significado e importancia</b>	<b>Norma aplicable</b>
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	Determina la distribución de las partículas de los agregados por medio de 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)

Continuación de tabla II.

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 las 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 o 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 álcali-sílice 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.

### 1.3.1. Análisis granulométrico del agregado fino, según Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136)

La distribución por tamaño de partícula mediante el tamizado es la base de este análisis; es necesario verificar que la gradación que poseen los agregados cumpla con los requerimientos establecidos dentro de esta norma.

Posterior a la realización de todo el procedimiento estándar establecido en la Norma NTG 41010 h1 para determinar la gradación de los agregados, finalmente se obtienen los resultados, los cuales determinan la conformidad de la distribución por tamaño de partículas y corroborar si se encuentran dentro de los límites granulométricos respectivos. En la norma NTG 41007 se encuentran los límites granulométricos que se presentan en la tabla III, dentro de los cuales deben de estar los agregados para que cumplan con las especificaciones de la norma, y de esta forma, ser un agregado con una granulometría graduada adecuadamente.

Tabla III. Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena manufacturada
9.5 mm, 3/8"	100	100
4.75 mm, N°4	95 a 100	95 a 100
2.36 mm, N°8	80 a 100	80 a 95
1.18 mm, N°16	50 a 85	45 a 95
600 µm, N°30	25 a 60	25 a 75
300 µm, N°50	5 a 30	10 a 35
150 µm, N°100	0 a 10	8 a 20

Fuente: Norma NTG 41007.

Es importante tomar en consideración los lineamientos y requisitos que se encuentran establecidos y especificados en la Norma NTG 41010 h1 para realizar correctamente el ensayo, hacer los cálculos respectivos adecuadamente y poder concluir con unos resultados reales.

### **1.3.2. Determinación de masa unitaria e índice de vacíos del agregado fino, según Norma NTG 41010 h2 (ASTM C-29)**

La masa unitaria, densidad aparente o, como comúnmente se le denomina a este ensayo, peso unitario de un agregado, no es más, que el peso, masa, de un volumen unitario. El volumen al que se refiere es aquel ocupado por un conjunto de partículas, en este caso agregado fino, y los vacíos que se encuentran entre dichas partículas.

El rango aproximado en el que se encuentra la densidad aparente de los agregados que comúnmente se utilizan en un concreto normal es de 1 200 a 1 750 kg/m<sup>3</sup>. La cantidad de vacíos en el agregado fino varía cerca del 40 % a 50 %; de acuerdo a la cantidad, estos vacíos existentes entre las partículas afectan la demanda de pasta de cemento en el diseño de la mezcla de un concreto. La angularidad en un agregado aumenta la cantidad de vacíos, mientras que un agregado bien graduado, con una buena granulometría, disminuye el contenido de vacíos.

En la Norma NTG 41010 h2 se describe este método de ensayo, que corresponde a la determinación de la densidad aparente, masa unitaria, e índice de vacíos en el agregado. En esta norma se encuentran descritos tres diferentes procedimientos para la realización de este ensayo; éstos están directamente relacionados al tamaño máximo del agregado. Los procedimientos descritos son: varillado, sacudidas y paleo.

De acuerdo con la norma, el procedimiento adecuado para determinar la masa unitaria del agregado fino debe ser el de varillado.

### **1.3.3. Estabilidad a la disgregación mediante el uso del sulfato de sodio o magnesio del agregado fino, según Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

Una de las características más importantes para un concreto que se aplica exteriormente es la resistencia al congelamiento de sus agregados; ésta, se relaciona con la porosidad, absorción, permeabilidad y estructura de sus poros. Una partícula de agregado puede absorber tanta agua, hasta la saturación crítica, que no puede soportar la expansión y la presión hidráulica que ocurren al momento de congelarse el agua. La calidad de los agregados tiene mucha importancia en el concreto, ya que, si existe una cantidad suficiente de partículas afectadas, puede provocar una expansión del agregado, lo que repercute en una posible desintegración del concreto.

La resistencia de los agregados cuando están sometidos a acciones de intemperismo se estima a través de ensayos de laboratorio, mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio; el procedimiento estándar para la realización de este método de ensayo se encuentra descrito en la Norma NTG 41010 h6.

De forma resumida, el ensayo se lleva a cabo con la inmersión repetida del agregado en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguidas de secado al horno hasta deshidratar parcial o totalmente las sales precipitadas en los espacios de los poros permeables; la presión interna derivada de la rehidratación de la sal bajo la re-inmersión, simula la expansión del agua al

congelarse. Finalmente, la muestra se lava, tamiza y se seca en el horno, para posteriormente, calcular el porcentaje de pérdida en masa.

Sin embargo, dado que la precisión de este método de ensayo es pobre, puede no ser adecuado para un rechazo total de los agregados. En ocasiones, los agregados que responden de forma adecuada a éste ensayo pueden producir concretos de baja resistencia al congelamiento y deshielo, mientras que agregados con un mal comportamiento a la prueba pueden producir concretos de resistencias adecuadas. Este fenómeno en parte, se debe a que los agregados no están confinados por la pasta de cemento, mientras que en el concreto sí lo estarían, y las formas de ataque al congelamiento-deshielo no son las mismas.

#### **1.3.4. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de agua del agregado fino, según Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128)**

La densidad relativa no es más que la relación de la masa de un agregado y la masa de un volumen de agua equivalente al volumen de las partículas de agregado; en otras palabras, es el volumen absoluto del agregado. Se usa en algunos cálculos de proporcionamiento y también en el control de mezclas de concreto; es útil, por ejemplo, para determinar el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla.

Por lo general, la densidad relativa no suele ser utilizada como una medida para determinar la calidad de los agregados, sin embargo, algunos agregados porosos que exhiben un deterioro acelerado debido a la congelación-deshielo poseen una baja densidad relativa. En su mayoría, los agregados naturales normalmente tienen densidades relativas que varían de 2,4 a 2,9.

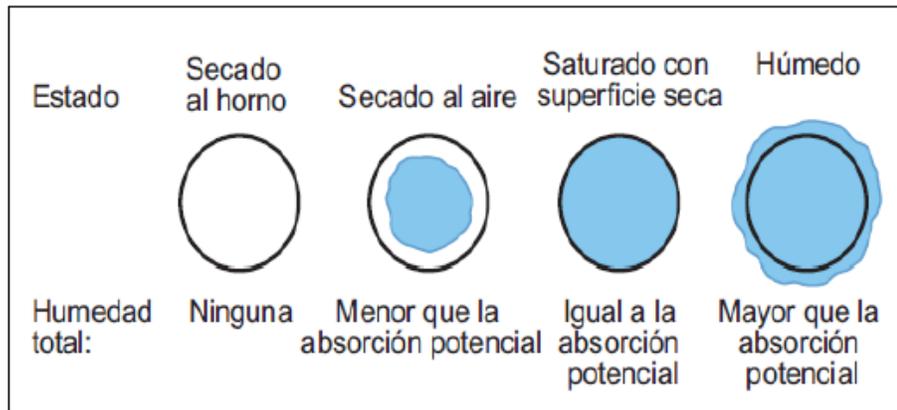
En la Norma NTG 41010 h9 se describen los métodos de ensayo para determinar la densidad relativa y absorción de los agregados finos. Esta característica puede determinarse en condición seca al horno (s) o saturada de superficie seca (sss). Los agregados que son secados al horno no contienen agua libre dentro de los poros de sus partículas ni agua absorbida; mientras que los agregados que se encuentran saturados de superficie seca tienen los poros de sus partículas llenos de agua, pero en su superficie no hay exceso de agua.

La densidad de los agregados es otra de las características físicas que se emplea en los cálculos de proporcionamiento de mezclas de concreto. Esta característica no incluye los vacíos entre las partículas de los agregados; para determinar la densidad de las partículas del agregado fino la norma establece dos procedimientos: el método gravimétrico, usando un picnómetro, y el método volumétrico, usando un frasco de Le Chatelier.

Poder determinar la absorción y humedad superficial de los agregados permite controlar el agua total del concreto y, a su vez, determinar las cantidades de masas correctas de los materiales en dichas mezclas. Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la figura 1 y se definen de la siguiente manera:

- Secado al horno: totalmente absorbente.
- Secado al aire: la superficie de las partículas está seca pero en su interior aún contiene cierta humedad; ligeramente absorbente.
- Saturado de superficie seca: no absorben ni ceden agua al concreto.
- Húmedos: contiene agua libre en su superficie.

Figura 1. **Condiciones de humedad de los agregados**



Fuente: KOSMATKA, Steven H., et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 115.

#### 1.4. **Sustancias dañinas en los agregados**

Las sustancias dañinas o perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados, podrían clasificarse en tres categorías: en impurezas; las cuales pueden retrasar el fraguado y endurecimiento del concreto; en revestimientos, éstos debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado; y partículas individuales de baja densidad, que pueden afectar la durabilidad del concreto. Existe la posibilidad de que un agregado pueda ser parcial o totalmente dañino para el concreto, debido al desarrollo de reacciones químicas entre el agregado y la pasta de cemento. La cantidad de sustancias dañinas o perjudiciales en el agregado fino no debe exceder de los límites indicados en la tabla 1 de la Norma NTG 41007, los cuales se listan a continuación en la tabla IV.

Tabla IV. **Límites para 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 tamiz 75 µm, N° 200:		
• Concreto sujeto a abrasión	3,0 <sup>A</sup>	5,0 <sup>B</sup>
• Cualquier otro concreto	5,0 <sup>A</sup>	7,0 <sup>B</sup>
Material de baja densidad, densidad relativa menor a 2.0, de material liviano no piroclástico:		
• Concreto con apariencia importante	0,5	0,5
• Cualquier otro concreto	1,0	1,0
<p><sup>A</sup> Siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada gramo de finos (75 µm [N°200]), estos límites podrán ser elevados a 5 y 7 % respectivamente.</p> <p><sup>B</sup> Siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada gramo de finos (&lt; 75 µm [N°200]) y la estructura no esté sometida a abrasión severa, estos límites podrán ser elevados a 8 y 15 % respectivamente.</p>		

Fuente: Norma NTG 41007.

#### 1.4.1. Impurezas orgánicas en los agregados

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y endurecimiento del concreto, impedir un desarrollo adecuado en la resistencia y, en otros casos poco usuales, provocar la deterioración del concreto. Existen otras impurezas orgánicas, que si bien no son tan perjudiciales para su implementación en el

concreto, se deben evitar; como por ejemplo: las turbas, los humus y las margas orgánicas. Es más probable encontrar esta clase de sustancias en el agregado fino que en el agregado grueso.

### 1.5. Ensayos para sustancias dañinas en los agregados

Existen diversos métodos de ensayo para la determinación de sustancias perjudiciales en los agregados para su uso en el concreto. En la siguiente tabla se enlistan éstos métodos de ensayo.

Tabla V. **Ensayos para sustancias dañinas en los agregados**

<b>Sustancia</b>	<b>Efecto en el concreto</b>	<b>Normas aplicables</b>
Impurezas orgánicas	Afecta el tiempo de fraguado y el endurecimiento, puede causar deterioración.	NTG 41010 h4 (ASTM C-40)
Material más fino que 75 µm, tamiz N°200	Afecta la adherencia y aumenta la demanda de agua.	NTG 41010 h3 (ASTM C-117)
Partículas livianas	Afecta la durabilidad, puede causar manchas y erupciones.	NTG 41010 h7 (ASTM C-123)
Partículas blandas	Afecta la durabilidad.	ASTM C-235
Terrones de arcilla y partículas friables	Afecta la trabajabilidad y la durabilidad, puede provocar erupciones.	NTG 41010 h10 (ASTM C-142)
Agregados reactivos con los álcalis	Causa expansión anormal, fisuras en forma de mapa, "viboritas", acodrilamiento, piel de cocodrilo.	NTG 41010 h13 (ASTM C- 289) NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)

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

### **1.5.1. Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, según Norma NTG 41010 h3 (ASTM C-117)**

Los materiales como limos, arcillas, el polvo de trituración o marga, que son materiales muy finos, al estar contenidos en los agregados en grandes cantidades, puede provocar un aumento en la demanda de agua al momento de la realización del concreto, la cual, posteriormente sale a la superficie como exudación, produciendo agrietamientos como consecuencia de un retraso en el fraguado.

Como se ha indicado con anterioridad, si los agregados poseen un exceso de materiales muy finos, éstos provocan interferencia en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento; y como consecuencia, disminuye la resistencia del concreto. Es por ello, que la norma establece pequeños porcentajes de material muy fino contenidos en el agregado, con el objetivo de limitar su cantidad en los mismos, véase en tabla IV.

El procedimiento para la determinación del material que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$ , N°200, en los agregados, se especifica en la Norma NTG 41010 h3. Es más eficiente separar las partículas más finas de partículas de mayor tamaño mediante el tamizado en húmedo, o lavado, que por tamizado en seco; por tal motivo, éste método de ensayo se desarrolla mediante el lavado del agregado. La pérdida en masa que resulta del tratamiento del lavado, se calcula como un porcentaje de masa de la muestra original, éste es el porcentaje de material más fino.

### **1.5.2. Determinación de las impurezas en los agregados finos para concreto, según Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40)**

El procedimiento estándar para la determinación de materia orgánica en los agregados finos que se emplean para concreto, se establece en el método de ensayo de la Norma NTG 41010 h4. La importancia principal de este método de ensayo radica en brindar un aviso de que pueden estar presentes en el agregado fino, cantidades perjudiciales de materia orgánica; lo que se traduciría en un fraguado y endurecimiento retrasado del concreto y por consiguiente baja la resistencia.

La muestra se sumerge en una solución al 3 % en peso de hidróxido de sodio reactivo, soda cáustica, en una botella de vidrio sin color, se agita y se deja reposar por un período de 24 horas. Al finalizar el reposo de 24 horas, se compara el color del líquido sobrenadante de la muestra de ensayo versus el colorímetro que la norma establece; se informa el color de placa orgánica más parecida al color del líquido sobrenadante sobre la muestra de ensayo.

El color estándar establecido en este procedimiento es la placa orgánica No. 3, si una muestra sometida a este ensayo define un color más oscuro al color estándar se debe considerar que éste agregado fino posiblemente contiene materia orgánica perjudicial para su uso en el concreto.

### **1.6. Ensayos para determinar la reacción álcali-sílice**

La reactividad álcali-sílice, RAS, se ha reconocido como una fuente potencial de deterioración desde finales de los años 30, de acuerdo con Stanton 1940 y PCA 1940. Para reducir el potencial de la RAS se hace necesario entender su mecanismo, utilizar adecuadamente los ensayos para identificar los

agregados potencialmente reactivos y, si fuera necesario, tomar precauciones para disminuir el potencial de expansión y el agrietamiento resultante.

La reacción entre óxidos inestables de silicio,  $\text{SiO}_2$ , y los hidróxidos alcalinos de la pasta de cemento,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , genera un tipo de gel hinchable que aumenta su volumen con relación a la cantidad de agua que absorbe. Este gel, al absorber agua, puede inducir presión, expansión y fisuración del agregado y de la pasta de cemento. Esto es lo que se conoce como reacción álcali-sílice.

En la tabla VI, se enlistan y describen diferentes métodos de ensayos que se pueden usar para evaluar la reactividad álcali-agregado potencial. Cabe mencionar que, estos ensayos no deben ser utilizados para descalificar el uso de un agregado potencialmente reactivo, pues los agregados reactivos se pueden usar sin ningún inconveniente, toda vez, se seleccione cuidadosamente los materiales cementantes.

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

<b>Ensayo</b>	<b>Propósito</b>	<b>Medida</b>	<b>Norma aplicable</b>
Reactividad potencial a álcalis de combinaciones de cemento-agregado, método de la barra de mortero	Ensayar la susceptibilidad de las combinaciones cemento-agregado a las reacciones expansivas involucrando álcalis.	Cambio de longitud.	ASTM C-227
Reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, método químico	Determinar el potencial de reactividad de agregados silícicos.	Disminución de la alcalinidad y de la cantidad de sílice en la solución.	NTG 41010 h13 (ASTM C-289)

Continuación de tabla VI.

Examen petrográfico de agregados para concreto	Presentar un perfil de los procedimientos de examen petrográfico de agregados; ayudar a determinar su comportamiento.	Características de las partículas, tales como: forma, tamaño, textura, color, composición mineralógica y condición física.	NTG 41088 (ASTM C-295)
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.	Cambio de volumen.	NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)
Determinación del 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.	Cambio de volumen.	NTG 41010 h16 (ASTM C-1293)

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

### **1.6.1. Estudio petrográfico de los agregados para concreto, según Norma NTG 41088 (ASTM C-295)**

La norma describe los procedimientos para la evaluación petrográfica de muestras representativas de agregados que se proponen para ser utilizados en mezclas de concreto o como materia prima para su uso en la producción de dichos agregados.

Los propósitos para realizar los exámenes petrográficos son los siguientes:

- Determinar las características físicas y químicas de los materiales que deben ser observados mediante métodos petrográficos y que afectan el desempeño de los materiales en sus determinados usos.
- Describir y clasificar todos los componentes de la muestra.
- Determinar las cantidades relativas de los componentes que no afectan significativamente el desempeño del material en su uso previsto, de los componentes que sí afectan dicho desempeño.
- Comparar las muestras de agregados de nuevas fuentes, con otras fuentes de las que se tiene registro de desempeño y datos de ensayo.

Determinar los componentes de un agregado no es el objetivo principal del estudio petrográfico, sin embargo, permite hacer conclusiones a nivel práctico. El objetivo más importante del análisis petrográfico es determinar si dentro del agregado existen componentes que pueden poner en riesgo el desempeño de una determinada aplicación.

A continuación se describen los lineamientos para la realización de un estudio petrográfico de los agregados para concreto.

#### **1.6.1.1. Toma de muestra, según Norma NTG 41009 (ASTM D-75)**

El muestreo de un agregado es tan importante como el ensayo al que va a ser sometido. La persona encargada de realizar el muestreo debe usar toda precaución para obtener una muestra que exhiba la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Las muestras para exámenes petrográficos deben tomarse con la supervisión de un experto que esté familiarizado con los requisitos para

muestreos aleatorios de agregados para concreto. Es importante conocer la ubicación exacta del punto de extracción de la muestra, la geología del lugar e información pertinente, ya que debe ser enviada con la muestra. Para muestreos más específicos, es decir; en canteras no explotadas, canteras en operación, caras de canteras no productoras, entre otras; consultar el inciso 7 de la Norma NTG 41088.

Las muestras deben consistir en no menos de la cantidad de material que se indica a continuación, en la tabla VII; se debe seleccionar de tal manera que la muestra sea representativa del punto de extracción.

Tabla VII. **Tamaños mínimos de muestras para el estudio petrográfico**

Tamiz	Cantidad		
	kg	lb	piezas
Mayores de 150 mm, 6"	-	-	A
75 a 150 mm, 3" a 6"	-	-	300 <sup>A</sup>
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 N°4 a 3/4"	45	100	-
Más fino que 4,75 mm N°4 <sup>B</sup>	23	50	-
<sup>A</sup> No menor que una pieza de cada tipo aparente de roca.			
<sup>B</sup> Agregado fino.			

Fuente: Norma NTG 41088.

### **1.6.1.2. Selección de la muestra**

Tanto las muestras de grava como las de arena, deben estar tamizadas en seco de acuerdo con la norma anteriormente mencionada en el inciso 1.3.1., con el objetivo de proporcionar muestras de cada tamaño de tamiz.

Los resultados del análisis granulométrico para cada muestra realizada es importante proporcionarla al petrógrafo, ya que con ellos se deben calcular los resultados del examen petrográfico. Cada porción tamizada se examinará por separado; el análisis debe iniciar con la muestra de mayor tamaño para facilitar su identificación. Para la identificación de partículas pequeñas es necesario el uso del microscopio estereoscópico o petrográfico.

Para reducir la cantidad de partículas de cada porción tamizada se deben hacer cuarteos hasta tener un mínimo de 150 partículas; del número de partículas depende el grado de precisión requerido.

### **1.6.1.3. Análisis de los agregados naturales**

Los procedimientos para la evaluación y análisis de las gravas y arenas naturales son muy parecidos. En las gravas se debe establecer si las partículas manifiestan revestimiento externo, de ser así, es necesario determinar si este revestimiento consiste en materiales potencialmente dañinos para el concreto y la firmeza del mismo. Si las porciones tamizadas se pueden clasificar fácilmente, dentro de los tipos de rocas, mediante un examen visual, rayado o prueba de ácido, se pueden omitir el resto de identificaciones.

A diferencia de las gravas, exceptuando a las partículas que se examinan por medio de microscopía petrográfica, para la evaluación de las arenas es

necesario utilizar el microscopio estereoscópico, el disco de Petri, pinzas y una aguja de disección. Para partículas más finas que 600  $\mu\text{m}$ , tamiz N°30, se debe reducir por cuarteo a un peso aproximado de 4 o 5 gramos, teniendo en cuenta que el número de partículas no debe ser menor de 150.

Las características físicas más relevantes que deben ser descritas en los agregados naturales son las siguientes:

- Forma de la partícula.
- Textura de la partícula.
- Tamaño del grano.
- Estructura interna: porosidad y cementación de los granos.
- Color.
- Composición mineralógica.
- Heterogeneidad significativa.
- Condición física general.
- Recubrimientos o incrustaciones.
- Presencia de componentes reactivos dañinos en el concreto.

#### **1.6.1.4. Cálculos**

Se debe calcular la composición de cada fracción de tamiz de una muestra heterogénea y la composición promedio ponderada de toda la muestra de la siguiente forma: a través de la suma del número total de partículas de la fracción contada y, calculando cada componente en cada condición como un porcentaje de la cantidad total de partículas; es así como debe expresarse la composición de cada fracción de tamiz.

El porcentaje de peso de la porción retenida en los tamices 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.

#### **1.6.1.5. Informes**

El informe del análisis petrográfico debe incluir todos aquellos datos esenciales que son necesarios para identificar la muestra, también se debe registrar los procedimientos de ensayo que se emplearon y brindar una descripción de la naturaleza y características de cada componente importante de la muestra, adjuntando tablas y fotografías según sea el caso.

El informe petrográfico debe contener, de forma resumida, los siguientes datos para identificar la muestra:

- Fuente.
- Uso designado.
- Descripción: composición y propiedades del material de acuerdo con la evaluación.

Cuando en la muestra se encuentran propiedades o componentes que se conocen por sus efectos desfavorables o perjudiciales para el concreto, éstas deben describirse cualitativamente y, de ser posible, también cuantitativamente.

Finalmente, el informe del examen petrográfico debe incluir conclusiones basadas en los hallazgos de la evaluación y recomendaciones con respecto a cualquier investigación adicional petrográfica, química, física o geológica que

puedan ser necesarias para evaluar condiciones adversas a la evaluación petrográfica realizada.

Los resultados y conclusiones deben ser reportados en términos que puedan ser entendibles para aquellos que deban realizar decisiones en cuanto a la idoneidad del material para su uso como agregado en el concreto.

### **1.6.2. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados, método químico; según Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289)**

Este método de ensayo hace referencia a la determinación química de la reactividad potencial de un agregado con los álcalis contenidos en un concreto de cemento Portland. Depende de la cantidad de reacción que se genera al momento de saturar un agregado que ha sido triturado y tamizado, de forma tal, que pueda pasar el tamiz de 300  $\mu\text{m}$ , N°50, y que sea retenido en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$ , N°100, con una solución 1 N de hidróxido de sodio a una temperatura de 80 °C por un período de 24h.

Este ensayo puede utilizarse como una herramienta de control de calidad para poder comprobar de forma periódica aquellas muestras que provienen de una fuente existente de agregado con un historial aceptable de servicios.

#### **1.6.2.1. Procedimiento**

Se deben pesar tres porciones representativas de la muestra de ensayo en seco, de material que pasa el tamiz No. 50 y queda retenido en el tamiz No. 100, hasta llegar a una masa de  $25,00 \pm 0,05$  g. Luego, colocar en los respectivos recipientes de reacción y por medio de una pipeta agregar 25 mL de la solución

de hidróxido de sodio, NaOH. Con el fin de utilizarlo como testigo, llenar un cuarto recipiente con 25 mL de la misma solución, NaOH. Sellar los recipientes y hacerlos girar de modo que liberen las burbujas de aire que se encuentran atrapadas en el agregado.

Inmediatamente después de liberar las burbujas de aire en los recipientes, se deben colocar en un baño a una temperatura constante de  $80 \pm 1$  °C. Luego de  $24 \pm \frac{1}{4}$  h se sacan los recipientes de reacción y se dejan enfriar por  $15 \pm 2$  min, bajo un chorro de agua con una temperatura menor de 30 °C.

Posterior a enfriar los recipientes, se debe filtrar la solución para recuperar el residuo de agregado. Inmediatamente después de completada la filtración, se debe agitar para homogenizar el filtrado y mediante una pipeta se toma una parte alícuota de 10 mL de filtrado y se diluye en 200 mL de agua en un frasco volumétrico. Es necesario conservar esta solución diluida para determinar la sílice disuelta y la reducción de alcalinidad; de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por la norma.

#### **1.6.2.2. Interpretación de resultados**

En el anexo 1 se establece una curva en línea continua que ha tomado como base varias correlaciones entre los datos obtenidos, con este método de ensayo, la expansión de barras de mortero conteniendo cemento de alto contenido de álcalis, el comportamiento de los agregados en las estructuras de concreto y el análisis petrográfico de los agregados.

Si al momento de graficar cualquiera de los tres puntos Rc y Sc, alguno de estos puntos se sitúa sobre la zona superior derecha de la curva, quiere decir que la muestra posee un grado potencialmente dañino de reactividad alcalina.

Aunque en ciertos casos, existen agregados que se sitúan en la zona potencialmente dañina de la curva, pero pueden producir una expansión relativamente baja en morteros o concretos, aun siendo altamente reactivos con los álcalis. No obstante, estos agregados se siguen considerando potencialmente reactivos hasta que demuestren inocuidad a través de ensayos complementarios, según sea el caso, o por medio de registros de servicios.

Los resultados de este método de ensayo pueden no ser correctos para agregados que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tales como la calcita, dolomita, magnesita; o silicatos de magnesio como la serpentina.

### **1.6.3. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados, método de la barra de mortero; según Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)**

Este método de ensayo proporciona un medio para poder determinar la reactividad potencial álcali-sílice del agregado que se prevé usar en las mezclas de concreto. Permite detectar, en un período de 16 días, la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados mediante barras de mortero.

Este método es útil para agregados que reaccionan lentamente o que causen en la reacción una expansión tardía. Cabe mencionar que con éste método de ensayo no se pueden evaluar combinaciones de agregados con materiales cementantes.

Los agregados seleccionados para este ensayo deben de cumplir con la graduación que se establece en la tabla VIII, de lo contrario, deben triturarse hasta que se obtenga el material requerido. Graduada la muestra, se procede a

lavarla con agua, con el objeto de remover el polvo y las partículas más finas adheridas en el agregado; luego, el material retenido se seca.

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

<b>Tamaño de tamiz</b>		
<b>Pasa</b>	<b>Retenido en</b>	<b>Masa (%)</b>
4,75 mm, N°4	2,36 mm, N°8	10
2,36 mm, N°8	1,18 mm, N°16	25
1,18 mm, N°16	600 µm, N°30	25
600 µm, N°30	300 µm, N°50	25
300 µm, N°50	150 µm, N°100	15

Fuente: Norma NTG 41010 h14.

El procedimiento estándar para la determinación de la reactividad potencial álcali-sílice que poseen los agregados, empleando el método de barras de mortero, se especifica en la Norma NTG 41010 h14.

Generalmente, las expansiones menores que 0,10 % al finalizar el ensayo, a los 16 días, indican un comportamiento inocuo. En los casos en donde las expansiones excedan el 0,20 % al culminar el ensayo, son indicativas de una expansión potencialmente dañina. Las expansiones comprendidas entre 0,10 % y 0,20 % a los 16 días incluyen ambos agregados tanto inocuos como dañinos; para estos agregados, es importante desarrollar información suplementaria.



## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1. Localización del banco en estudio

El banco en estudio se encuentra a un costado del puente Chetumal, que se ubica sobre la carretera Jacobo Árbenz Guzmán, CA-9 Norte, en la altura del kilómetro 84; carretera que conduce de la Ciudad de Guatemala hacia Puerto Barrios, Izabal.

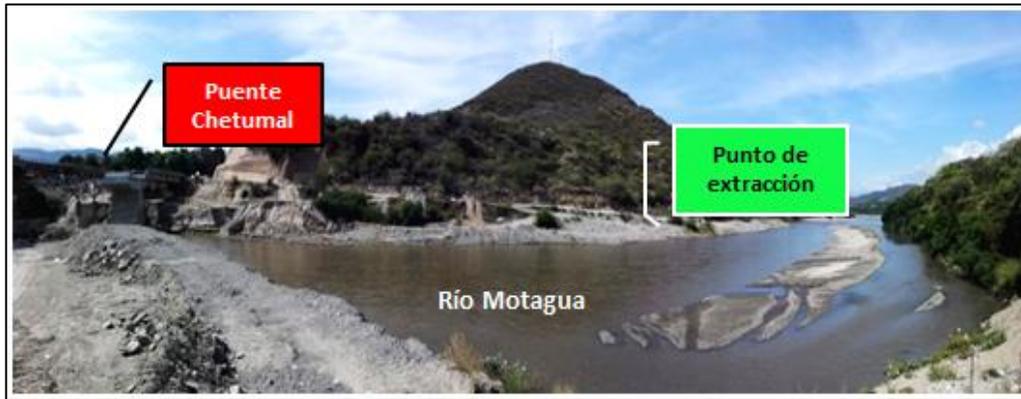
Se localiza justo a la orilla del río Motagua, a una distancia de aproximadamente 230 metros con respecto al puente Chetumal. En ésta área se extrae en gran cantidad el agregado fino con el que se realiza este trabajo de investigación, para su posterior uso en diferentes aplicaciones.

Figura 2. Localización del banco



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth, puente Chetumal.

Figura 3. **Visualización del banco**



Fuente: elaboración propia, carretera CA-9 Norte, km. 84.

## 2.2. **Área tributaria de la cuenca al banco en estudio**

Como se mencionó con anterioridad, el área total de la cuenca del río Motagua es de 12 670 km<sup>2</sup>, ocupando alrededor del 8,5 % del área total del país.

El punto de extracción, con respecto a la cuenca, se encuentra ubicado aproximadamente a la mitad de toda la cuenca. De acuerdo a los cálculos realizados, se obtuvo un área tributaria de 5 664,22 km<sup>2</sup> hasta el punto de extracción.

A continuación en la figura 4 se puede observar, mediante un mapa, el área de la cuenca que tributa hasta el banco en estudio.

Figura 4. **Mapa del área tributaria de la cuenca el Motagua al banco**



Fuente: elaboración propia. empleando ArcGIS.

## **2.3. Materiales**

Los materiales a utilizar son la parte más importante para el desarrollo experimental de éste trabajo de investigación. Son la parte fundamental para la realización de todos los ensayos de laboratorio; mediante los cuales se podrá caracterizar de manera física, química y determinar las propiedades mecánicas del agregado fino.

### **2.3.1. Arena de río**

Agregado fino que fue extraído del río Motagua, con aspecto físico de color gris y de canto rodado en sus partículas.

Figura 5. **Arena extraída del río Motagua**



Fuente: elaboración propia, carretera CA-9 Norte, km. 84.

### 2.3.1.1. Toma de muestras

La toma de muestras de la arena se realizó en el lugar de extracción anteriormente descrito. El muestreo se llevó a cabo el día 7 de octubre de 2018; durante la toma de muestras el material fue puesto en sacos y posteriormente en bolsas plásticas, con el objetivo de no alterarlos.

Es importante mencionar que, la Sección de Agregados, Concretos y Morteros y la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en conjunto con el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM, fueron los lugares en donde se le realizaron todos los ensayos requeridos a la arena que se extrajo del río Motagua.

Figura 6. Muestreo de la arena



Fuente: elaboración propia, carretera CA-9 Norte, km. 84.

### **2.3.1.2. Preparación de las muestras**

Para la realización de todos los ensayos que se incluyen en este trabajo de investigación, únicamente se preparó una muestra de arena de río, la cual se describe a continuación:

- Arena de río sin lavar, tal como se extrajo. Se debe reducir y homogenizar la muestra a tamaños de ensayos, de acuerdo a los procedimientos y especificaciones de la norma NTG 41010 h11 (ASTM C-702).

### **2.3.2. Cemento**

Para los ensayos requeridos, se utilizó cemento tipo Portland puzolánico tipo I, PM, de uso general en la construcción, UG, de acuerdo con la Norma ASTM C-595.

## **2.4. Ensayos físicos**

Luego de finalizar con los procesos de muestreo y con la preparación de la muestra de arena, se continuó con la realización de los ensayos físicos, los cuales fueron: análisis granulométrico, porcentaje que pasa tamiz No. 200, contenido de materia orgánica, peso unitario, peso específico, porcentaje de absorción, porcentaje de vacíos y estabilidad a la disgregación mediante el uso de sulfato de sodio.

Todos estos ensayos físicos fueron realizados en el laboratorio de la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC; empleando los procedimientos y especificaciones que están establecidos en las normas NTG, vigentes y ASTM de referencia.

Figura 7. **Elaboración de ensayos físicos**



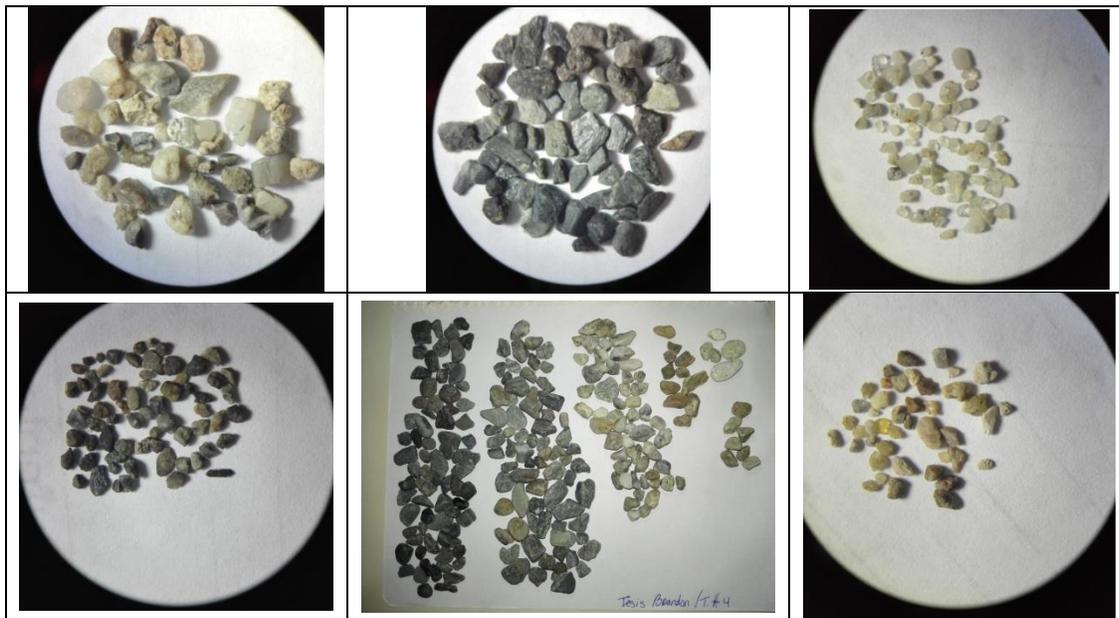
Fuente: Laboratorio de Morteros, CII. Edificio Emilio Beltranena, USAC.

## 2.5. Ensayos químicos y petrográficos

Luego de concluir los procesos de muestreo y también con la preparación de la arena, se dio inicio con la realización de los ensayos químicos y petrográficos, los cuales fueron: la reactividad potencial álcali-sílice y el estudio petrográfico.

El ensayo de la reactividad potencial álcali-sílice, a través del método químico, fue realizado en el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC. Mientras que el estudio petrográfico fue realizado en el CESEM de la Facultad de Ingeniería / USAC; ambos, empleando los procedimientos y especificaciones que están establecidos en las normas NTG y ASTM.

Figura 8. **Muestras de la arena empleada para el estudio petrográfico**



Fuente: CESEM. Edificio T-1, USAC.

## 2.6. Ensayos mecánicos

Como parte del desarrollo experimental se realizó únicamente un ensayo mecánico, el cual corresponde al ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de mortero, usando especímenes cúbicos. Sin embargo, se realizaron tres diseños de mezcla de morteros a diferentes proporciones, con la finalidad de determinar el desempeño mecánico de la arena de río en conjunto con el cemento.

Por otro lado, también se realizó la prueba de reactividad potencial alcali-sílice mediante barras de mortero, con el objetivo de medir la expansión o contracción del cemento con la arena de río en un período de 16 días.

Ambos ensayos fueron realizados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC; empleando los procedimientos y especificaciones que están establecidos en las normas NTG y ASTM correspondientes.

Las proporciones utilizadas para la realización de los diferentes diseños de mezcla de mortero, se describen en la tabla IX.

Tabla IX. **Proporciones de mezcla empleadas para cubos de mortero**

Diseño de Mezcla	Material	Proporción en peso (g)	Proporción en volumen	Flujo (%)
M1	Cemento	1 600	1,00	113
	Arena de río	1 600	1,00	
	Agua	530	0,331	
M2	Cemento	1 065	1,00	108
	Arena de río	2 130	2,00	
	Agua	410	0,385	

Continuación de tabla IX.

<b>M3</b>	Cemento	800	1,00	110
	Arena de río	2 400	3,00	
	Agua	390	0,488	

Fuente: elaboración propia.

La proporción que se utilizó para la prueba de reactividad potencial alcali-sílice mediante barras de mortero se presenta en la tabla X. Dicha proporción la establece la norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), de acuerdo con la densidad relativa seca al horno del agregado analizado.

Tabla X. **Proporción utilizada para las barras de mortero**

<b>Material</b>	<b>Proporción en volumen</b>	<b>Proporción en peso (g)</b>
Cemento	1,00	667
Arena de río	2,25	1 500
Agua	0,47	313

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente a la realización práctica de los diseños de mezcla de mortero, se realizó el proceso de curado; proceso en el cual los especímenes se sumergen en agua saturada de cal, en recipientes de materiales no corrosivos, con el objetivo de tener un fraguado óptimo.

Luego de la realización práctica y del proceso de curado, se determinaron las resistencias a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días. Ya establecidas éstas fechas se procedió a realizar los ensayos a compresión.

Figura 9. **Cubos ensayados a las edades establecidas**



Fuente: área de máquinas, CII. Edificio Emilio Beltranena, USAC.

Luego de la realización de las barras de mortero, siguiendo todos los procedimientos y especificaciones de acuerdo a la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), y establecidas las fechas de ensayo, se llevaron a cabo las mediciones de expansión o contracción de las barras de mortero.

Figura 10. **Medición de expansión o contracción de barra de mortero**



Fuente: Laboratorio de Morteros, CII. Edificio Emilio Beltranena, USAC.



### **3. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados al agregado fino extraído del río Motagua, para determinar las características físicas, químicas, petrográficas y propiedades mecánicas, se describen a lo largo de este capítulo; en donde se tabulan y analiza cada uno de los resultados. Todos los procedimientos realizados a cada prueba, determinados según la norma requerida, fueron descritos en el primer capítulo. En el apartado de anexos se muestran los informes correspondientes a cada ensayo realizado.

#### **3.1. Ensayos físicos**

En el presente apartado se muestran los resultados que se obtuvieron luego de realizar los ensayos respectivos para determinar la caracterización física de la arena procedente del río Motagua. Dichos resultados se comparan con los límites permisibles que se establecen en las Normas NTG 41007 (ASTM C-33) y la NTG 41010 h6 (ASTM C-88).

##### **3.1.1. Análisis granulométricos**

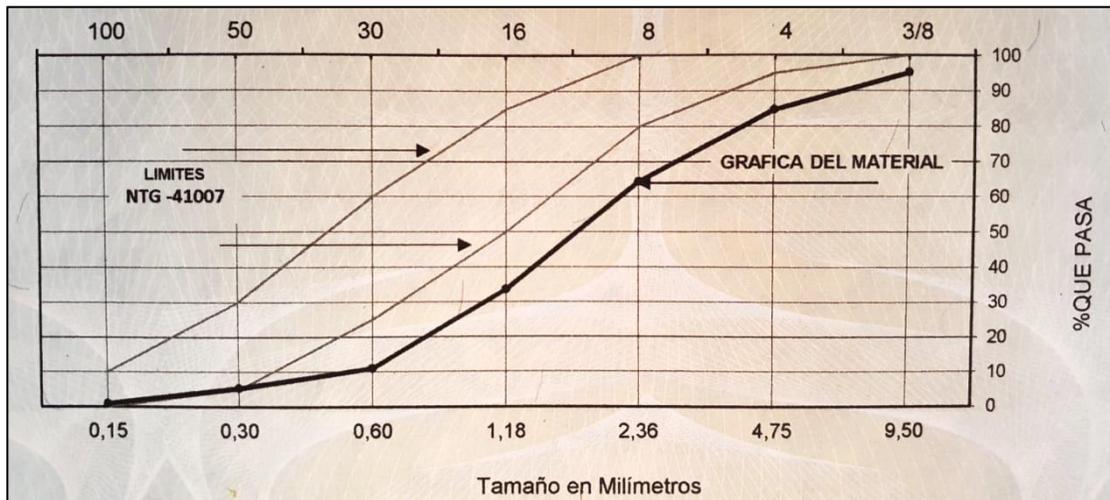
A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayo físicos del agregado fino del río Motagua; de acuerdo a lo especificado en las normas, éstos ensayos se realizaron sin provocar ningún tipo de alteración en la arena, tal cual, como se realizó en el proceso de extracción y muestreo.

Tabla XI. **Características físicas de la arena proveniente del río Motagua**

Ensayo	Resultado
Densidad relativa (sss)	2,62
Densidad (sss)	2 610,00 kg/m <sup>3</sup>
Masa unitaria, compactada	1 760,00 kg/m <sup>3</sup>
Masa unitaria, suelta	1 670,00 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos, compactado	33,00 %
Porcentaje de vacíos, suelto	36,00 %
Porcentaje de absorción	0,50 %
Contenido de materia orgánica	1
Porcentaje que pasa tamiz No. 200	0,00
Porcentaje retenido tamiz 6,35	13,00 %
Módulo de finura	4,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Granulometría de la arena procedente del río Motagua**



Tamiz No.	12,50	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	95,20	84,80	64,40	33,60	11,00	5,40	1,00

Fuente: elaboración propia.

Los límites para cada ensayo realizado al agregado fino del río Motagua se establecen en las normas NTG. Con respecto a los resultados mostrados en la tabla XI y en la figura 11, se puede decir que:

- De acuerdo con la Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128), los límites para la densidad relativa (sss) y para la densidad (sss) del agregado fino se encuentran entre 2,40 y 2,90; y de 2 400 a 2 900 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Los resultados a estos ensayos dieron un peso específico de 2,62 y una densidad de 2 610 kg/m<sup>3</sup>; lo que indica que el agregado fino sí cumple con los parámetros estipulados.
- Generalmente, la masa unitaria suelta del agregado fino utilizado para concreto se encuentra dentro de 1 200 y 1 750 kg/m<sup>3</sup>. De los ensayos realizados se obtuvo una masa unitaria suelta de 1 670 kg/m<sup>3</sup>, esto quiere decir que se ubica dentro del rango mencionado.
- De manera usual, se ha estipulado un parámetro para la cantidad de vacíos en el agregado fino, el cual varía de 40 % a 50 %. Luego de los ensayos respectivos, se determinó un porcentaje de vacíos, suelto, de 36 %, demostrando así, que la arena del río Motagua tiene menos cantidad de vacíos entre sus partículas, que lo estipulado usualmente.
- Con un porcentaje de absorción de tan solo 0,50 %, la arena del río Motagua demuestra que no absorbe casi nada de agua dentro de sus partículas. No es un agregado absorbente.
- La Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40) establece que el color máximo permisible, para la determinación de materia orgánica, es el No.3. Sin embargo, la muestra de arena de río se encuentra dentro del parámetro permisible, ya que se obtuvo un resultado del No.1.
- Para el porcentaje que pasa el tamiz No. 200, la Norma NTG 41007 (ASTM C-33) establece para agregado fino, que dicho porcentaje no debe exceder de 3,0 %. En éste sentido, la arena extraída del río Motagua cumple a

cabalidad el límite establecido, puesto que el resultado del ensayo fue de 0,00 % de material que pasa el tamiz No. 200.

- Respecto al módulo de finura, la arena analizada no cumple con lo establecido en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), ya que se obtuvo un resultado de 4,05; mientras que la norma permite un módulo de finura ubicado entre 2,30 y 3,10 para agregado fino. Por tal motivo, la arena proveniente del río Motagua se clasifica como arena gruesa.
- En la figura 11, se muestra la gráfica del estudio granulométrico realizado a la arena del río Motagua; la cual, como se observa, no se encuentra dentro de los límites especificados en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33); esto indica que, la arena posee una granulometría muy gruesa para ser agregado fino.

### **3.1.2. Estabilidad a la disgregación por uso de sulfato de sodio**

El ensayo para determinar la estabilidad a la disgregación de la arena proveniente del río Motagua mediante el uso del sulfato de sodio, se realizó bajo las especificaciones de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88). Los resultados obtenidos se describen en la tabla XII.

Tabla XII. **Datos del ensayo de estabilidad a la disgregación por uso de sulfato de sodio de la arena del río Motagua**

Tamaños de tamiz		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo (g)	Peso después de ensayo (g)	Porcentaje de desgaste	Porcentaje desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenidos					
No. 100	FONDO	1,00	---	---	---	---
No. 50	No. 100	4,40	---	---	5,60	0,2464
No. 30	No. 50	5,60	100,00	94,40	5,60	0,3136
No. 16	No. 30	22,60	100,00	95,50	4,50	1,0170
No. 8	No. 16	30,80	100,00	98,90	1,10	0,3388
No. 4	No. 8	20,40	100,00	98,40	1,60	0,3264
3/8"	No. 4	10,40	100,00	98,20	1,80	0,1872
<b>TOTALES</b>		<b>95,20</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>2,0000</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó con anterioridad, para este ensayo se utilizó una solución saturada de sulfato de sodio; de acuerdo con ello, la norma NTG 41007 (ASTM C-33) establece que el agregado fino sujeto a cinco ciclos de ensayo, de resistencia a la disgregación, no debe tener una pérdida promedio ponderada mayor de 10 %, utilizando una solución de sulfato de sodio. Entonces, conforme a la tabla XII, se puede decir que la arena extraída del río Motagua sí cumple con el parámetro que especifica la norma.

### 3.2. Ensayos químicos y petrográficos

En este apartado se dan a conocer los resultados obtenidos del estudio petrográfico y de la caracterización química de la arena proveniente del río Motagua; se comparan dichos resultados con los límites admisibles, establecidos en las Normas NTG 41088 (ASTM C-295) y NTG 41010 h13 (ASTM C-289).

#### 3.2.1. Estudio petrográfico

Para el análisis petrográfico fue necesario utilizar material tamizado del análisis granulométrico, para cada uno de los tamices indicados en la tabla XIII, con no menos de 150 partículas por tamiz; toda vez, haya disponibilidad en el mismo.

Posteriormente, se clasificó el tipo de partículas y minerales de las muestras de cada tamiz; de manera resumida; se logró clasificar en ocho tipos, los cuales son: olivinos, cuarzo, vidrio volcánico traslúcido, andesitas, esquistos, pómez, rocas ígneas y micas.

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

<b>Tamaño de tamiz</b>	<b>Porcentaje retenido</b>
3/8"	4,8
No. 4	10,4
No. 8	20,4
No. 16	30,8
No. 30	22,6
No. 50	5,6
No. 100	4,4
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Partículas de rocas y minerales que conforman la arena**

TIPO DE MINERAL	Cantidad de partículas por tamiz						
	No. 3/8	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Olivinos	0	0	0	1	0	0	8
Cuarzo	12	63	62	56	124	58	51
Vidrio volcánico traslúcido	0	0	0	14	23	78	103
Andesitas	11	99	83	60	35	34	61
Esquistos	10	57	17	52	76	31	0
Pómez	0	0	9	11	0	0	0
Rocas Ígneas	5	9	16	0	0	0	0
Micas	0	0	0	0	0	22	3
<b>TOTALES</b>	<b>38</b>	<b>228</b>	<b>187</b>	<b>194</b>	<b>258</b>	<b>223</b>	<b>226</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Porcentaje de partículas de rocas y minerales por tamiz**

TIPO DE MINERAL	Porcentaje de partículas por tamiz						
	No. 3/8	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Olivinos	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	3,54
Cuarzo	31,58	27,63	33,16	28,87	48,06	26,01	22,57
Vidrio volcánico traslúcido	0,00	0,00	0,00	7,22	8,91	34,98	45,58
Andesitas	28,95	43,42	44,39	30,93	13,57	15,25	26,99
Esquistos	26,32	25,00	9,09	26,80	29,46	13,90	0,00
Pómez	0,00	0,00	4,81	5,67	0,00	0,00	0,00
Rocas Ígneas	13,16	3,95	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Micas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,87	1,33
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fuente: elaboración propia.

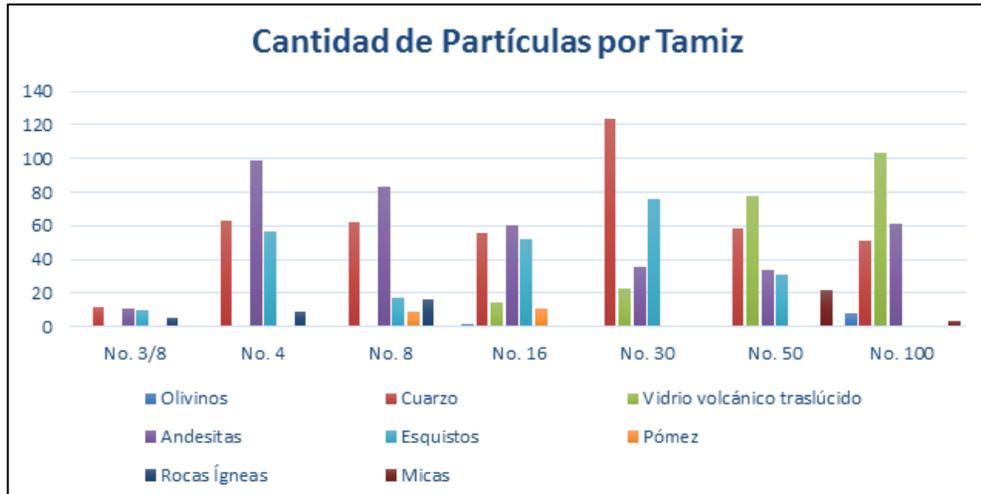
De acuerdo con las tablas XIV y XV, se puede observar que las partículas de olivino son las que se encuentran en menor cantidad de la muestra total, seguidas por las piedras pómez y las micas. La arena extraída del río Motagua está conformada en su mayoría por partículas de cuarzo, andesitas, esquistos y en una cantidad más baja por partículas de vidrio volcánico traslúcido; según los resultados obtenidos en el ensayo petrográfico.

De la resumida gama de partículas de rocas y minerales encontrados en la arena en estudio, las partículas que tienen un efecto dañino sobre el concreto son aquellas que se clasificaron como: vidrio volcánico, esquistos y pómez. El vidrio volcánico al tener una superficie vítrea, impide que se forme una adherencia adecuada entre las partículas y la pasta de cemento, provocando así, segregación en el concreto.

Por otro lado, los esquistos presentan típicamente una textura foliada bien definida, a lo que se le conoce como esquistosidad, lo que provoca que sea una roca de baja resistencia física; por lo mismo, no es adecuado este tipo de agregado para la realización de mezclas de concreto para usos estructurales. En la elaboración de mezclas de concreto para usos estructurales, la piedra pómez no es una buena opción tampoco, debido a su baja densidad y alta porosidad, lo que causa que las mezclas no alcancen altas resistencias. Al estar formadas a partir de magmas con altos niveles de acidez, las piedras pómez contienen sustancias alcalinas que reaccionan con el cemento; es otra de las razones por la cual las pómez no se recomiendan para concretos que requieran altas resistencias.

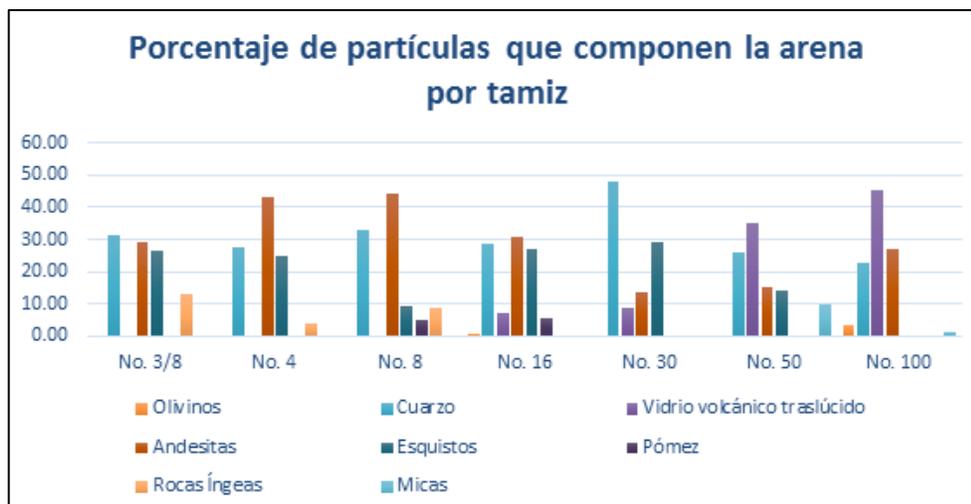
En las figuras 12 y 13 se puede observar e interpretar de una mejor manera los resultados obtenidos del examen petrográfico realizado al agregado fino proveniente del río Motagua, graficando la distribución de las partículas.

Figura 12. **Distribución de las diferentes partículas de la arena**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Porcentaje de las diferentes partículas de la arena**



Fuente: elaboración propia.

Los agregados finos y gruesos son materiales minerales que sirven fundamentales para la fabricación de mezclas de concreto, mezclas asfálticas, entre otros. Por tal motivo, se hace necesario tener el conocimiento de la composición física y química de las rocas y minerales que conforman a dichos agregados, ya que ellos pueden afectar las propiedades de diversos productos al momento de ser usados.

Los minerales están conformados por elementos químicos inorgánicos de origen natural, los cuales pueden encontrarse a lo largo de la superficie terrestre. A continuación se definen las rocas y minerales que componen a la arena procedente del río Motagua:

- El olivino es componente de rocas ígneas de composición ultramáfica y máfica; es un mineral de magnesio y hierro, éste mineral es el componente principal del manto superior. Se encuentra dentro de la clasificación de los silicatos; las rocas peridotitas, gabro y basalto se encuentran asociadas a este mineral. Su fórmula química típicamente es  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4$ , rara vez el Ca, Mn y Ni ocupan las posiciones de Mg y Fe. Este mineral varía de color de acuerdo con su composición química, al ser enriquecidos en hierro tienden a ser marrones y cuando están enriquecidos en magnesio, son verdosos.
- El cuarzo es un mineral compuesto naturalmente de sílice, por lo cual, su fórmula química es  $\text{SiO}_2$ . Éste es considerado el material mineralógico más abundante de la corteza terrestre. Los cristales de cuarzo pueden aparecer de diversas formas en la naturaleza como geodas, drusas, prismas alargados, granos de cuarzo muy pequeños no cristalizados y conformando algunos tipos de rocas como la cuarcita y el granito.

- El vidrio volcánico traslúcido es una roca conformada por partículas vítreas, generadas a partir del enfriamiento rápido de lavas. Generalmente son de apariencia transparente o incolora.
- La andesita es una roca ígnea extrusiva y también subvolcánica; su composición química es intermedia, esto significa que se compone de  $\text{SiO}_2$  en un porcentaje de 52 % al 63 %. Comúnmente suele tener una textura porfídica y en algunas ocasiones afanítica. Asimismo, la andesita se compone, mineralógicamente, de anfíbol, plagioclasas y piroxenos principalmente. La matriz es densa y microcristalina de color negro, gris medio, gris-verdoso claro y rojizo-café.
- El esquisto es una roca metamórfica de grano medio a grueso, en donde predominan los minerales laminados o micáceos. Los esquistos contienen cantidades más pequeñas de otros minerales, a menudo cuarzo y feldespato. La textura de estas rocas es foliada; la esquistosidad, foliación, de este tipo de rocas se forma de manera perpendicular al esfuerzo regional en la formación de montañas. Los esquistos se forman por metamorfismo regional de una amplia gama de protolitos, incluidos sedimentos arcillosos y arenosos, sedimentos mixtos de silicio y carbonato y rocas ígneas.
- La piedra pómez o pumita es una roca ígnea volcánica que se caracteriza por ser muy vesiculada o porosa y, por lo mismo, de una densidad muy baja. El alto porcentaje de vesículas se debe a la formación de burbujas causado por la despresurización del magma al ser expulsado hacia la superficie. Está compuesta casi en su totalidad por vidrio volcánico, lo que le brinda una composición química félsica, es decir; está compuesta en un porcentaje mayor al 63 % de  $\text{SiO}_2$ . Se presenta comúnmente en colores claros.
- Las rocas ígneas se forman por la cristalización de un fundido rocoso conocido como magma en la profundidad y como lava al ser expulsado a

la superficie. La composición del fundido magmático y el ambiente en donde se cristalice formarán a los diversos tipos de rocas ígneas existentes. Existen dos clasificaciones de rocas ígneas, las intrusivas o plutónicas y las extrusivas o volcánicas. De acuerdo con las partículas encontradas en la arena del río Motagua, éstas corresponden a rocas ígneas extrusivas o volcánicas; son todas aquellas rocas que se forman cuando la lava es expulsada sobre la superficie; cristaliza muy rápidamente y se caracterizan por tener una textura afanítica y una matriz de vidrio volcánico.

- Micas es como comúnmente se le conoce a un grupo de minerales que son física y químicamente similares, los cuales pertenecen al grupo de los silicatos; también se les conoce como silicatos laminares, porque visualmente se forman a manera de finas capas. Se caracterizan por ser ligeros y blandos, sus formas laminadas son flexibles. Las micas poseen resistencia al calor y no conducen la electricidad.

### **3.2.2. Reactividad potencial álcali-sílice mediante el método químico**

El ensayo para determinar la reactividad potencial álcali-sílice, empleando el método químico, se realizó a una muestra de arena del río Motagua; con el objetivo de poder determinar la capacidad reactiva potencial de expansión a mediano y largo plazo del mortero. Esta prueba se realizó bajo los procedimientos y especificaciones de la norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289). Los resultados se presentan a continuación en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Resultado del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice**

<b>Muestra</b>	<b>Reducción Alcalina (mmol/L)</b>	<b>Sílice Disuelta (mmol/L)</b>	<b>Resultado</b>
Arena del río Motagua	397,9 ± 3,16	180,3 ± 3,30	Potencialmente deletéreo

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la gráfica del anexo 1, la muestra de arena analizada bajo este ensayo, se ubica en una posición, de tal manera que indica que la muestra corresponde a un agregado considerado potencialmente deletéreo.

Sin embargo, algunos agregados representados en la gráfica, potencialmente dañinos pueden producir una expansión relativamente baja en morteros o concretos, aun cuando estos son altamente reactivos con los álcalis.

Cuando el agregado en análisis resulta considerado potencialmente deletéreo, como en esta ocasión, estos agregados deben ser considerados potencialmente reactivos hasta que el carácter inocuo de estos agregados se demuestre, ya sea mediante registros de servicio o a través de ensayos suplementarios tales como: contenido de materia orgánica y sustancias perjudiciales, reactividad potencial mediante el uso de barras de mortero, examen petrográfico, entre otros.

Conforme a los ensayos y análisis anteriormente mencionados, se puede decir que el agregado fino procedente del río Motagua se puede considerar como un agregado inocuo, a pesar del resultado obtenido en este ensayo; tomando como base los resultados que se obtuvieron de los ensayos de contenido de materia orgánica, partículas más finas que el tamiz No. 200, el análisis

petrográfico y la reactividad potencial álcali-agregado a través del método de la barra de mortero.

### 3.3. Ensayos mecánicos

En este apartado se presentan los resultados que se obtuvieron en la realización de los ensayos mecánicos practicados a muestras de mortero, hechos con cemento y arena extraída del río Motagua; comparándolos con los límites establecidos en las normas NTG 41010 h14 (ASTM C-1260) y la NTG 41003 h4 (ASTM C-109).

#### 3.3.1. Reactividad potencial álcali-sílice mediante el método de la barra de mortero

Seguidamente, en la tabla XVII, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de expansión o contracción de barras de mortero, fabricadas con cemento y arena del río Motagua.

Tabla XVII. **Resultados del ensayo de reactividad potencial álcali-sílice mediante el método de la barra de mortero**

	Fecha	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4
<b>Lectura inicial</b>	4/09/2019	8,6470	8,6560	6,1640	8,0380
<b>Lectura cero</b>	5/09/2019	8,8200	8,8400	6,3500	8,1760
<b>Lectura a 16 días</b>	19/09/2019	8,8200	8,7600	6,3100	8,2080
<b>% de expansión individual</b>		0,0000	-0,0320	-0,0160	0,0128
<b>% de expansión promedio</b>		<b>-0,0088</b>			

Fuente: elaboración propia.

Conforme a la tabla XVII, el resultado de expansión o contracción obtenido en el ensayo es menor al especificado en la norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), la cual indica que el valor límite permisible es de 0,20 %. Por tal motivo, el agregado fino extraído del río Motagua se considera no reactivo.

De igual manera, no estaría de más el considerar la realización de un estudio de la expansión o contracción a los 28 y 56 días, debido a que el agregado no presentó una reacción deletérea dentro del periodo de evaluación realizado. Esto, con el objetivo de corroborar que el agregado en análisis realmente no presente, a largo plazo, una reacción deletérea o nociva al momento de usarse en el concreto.

### **3.3.2. Ensayo de cubos de mortero a compresión**

Se realizó el ensayo a compresión de tres diseños de mezclas de mortero diferentes, que corresponden a las siguientes proporciones: M1 (1:1:0,331), M2 (1:2:0,385) y M3 (1:3:0,488); siguiendo las especificaciones y procedimientos de la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C-109), ensayando las muestras a las edades de 7, 14 y 28 días.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la realización de este método de ensayo aplicado a cada mezcla de mortero, mostrando como resultado el promedio resultante de tres cubos de mortero por cada edad establecida. En el apartado de anexos, se puede observar el resultado individual de cada uno de los cubos ensayados, respectivos a cada mezcla de mortero.

Tabla XVIII. **Resultados de ensayo a compresión de M1**

<b>Cubos</b>	<b>Edad en días</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga lb</b>	<b>Resistencia MPa</b>	<b>Resistencia lb/plg<sup>2</sup></b>
1-2-3	7	26,385	25 700	43,40	6 290
4-5-6	14	26,079	29 700	50,60	7 340
7-8-9	28	26,144	33 200	56,50	8 210

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados de ensayo a compresión de M2**

<b>Cubos</b>	<b>Edad en días</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga lb</b>	<b>Resistencia MPa</b>	<b>Resistencia lb/plg<sup>2</sup></b>
1-2-3	7	26,539	21 400	35,80	5 190
4-5-6	14	26,348	26 100	44,00	6 380
7-8-9	28	26,314	30 100	50,90	7 380

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de ensayo a compresión de M3**

<b>Cubos</b>	<b>Edad en días</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga lb</b>	<b>Resistencia MPa</b>	<b>Resistencia lb/plg<sup>2</sup></b>
1-2-3	7	26,010	13 800	23,60	3 420
4-5-6	14	26,300	15 500	26,30	3 810
7-8-9	28	25,976	19 700	33,70	4 890

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la Norma NTG 41096 (ASTM C-91), para un mortero tipo M, de proporción 1:3, la resistencia a la compresión de cubos a la edad de 28 días debe ser de 20,00 MPa o 2 900 lb/plg<sup>2</sup>. Con respecto a los tres diseños de mezcla de mortero realizados, el que obtuvo menos resistencia a la compresión fue la mezcla M3, como era de esperarse; sin embargo, a pesar de que fue el menos resistente de los tres diseños realizados, la mezcla M3 con proporción 1:3:0,488, sobrepasa por mucho el requerimiento mínimo establecido en la norma, con una resistencia promedio a 28 días de 33,70 MPa o 4 890 lb/plg<sup>2</sup>.



## CONCLUSIONES

1. Con los resultados obtenidos del análisis realizado a la arena proveniente del río Motagua, con base en las especificaciones establecidas en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), se demuestra que la misma cumple con la mayoría de los resultados, poniendo especial atención a la graduación obtenida, ya que se clasifica como arena gruesa; es importante atender esta característica al momento de usar la arena en la fabricación de concreto.
2. La Norma NTG 41007 (ASTM C-33), dentro de la cual brinda el parámetro con respecto al ensayo para determinar la estabilidad a la disgregación de la arena mediante el uso de sulfato de sodio, especifica una pérdida máxima permisible de 10 %; de acuerdo con ello, la muestra de arena extraída del río Motagua sí cumple con dicho parámetro, ya que luego de realizada la prueba, obtuvo un porcentaje de desgaste muy inferior al máximo permisible.
3. Con los procedimientos realizados bajo la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), para determinar la reactividad potencial álcali-sílice de la muestra de la arena del río Motagua, a través del método químico; se determinó que la muestra es potencialmente deletérea, esto quiere decir; que la arena puede provocar cierta expansión en morteros o concretos. Sin embargo, el carácter inocuo de la arena puede demostrarse a través del ensayo de la reactividad potencial álcali-agregado, empleando el método de la barra de mortero, tal como lo indica dicha norma.

4. Conforme a los resultados obtenidos del ensayo para determinar la reactividad álcali-agregado usando el método de la barra de mortero, Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), se determinó que la arena procedente del río Motagua se considera no reactiva. Debido a que el porcentaje de expansión obtenido al finalizar la prueba es menor a 0,20 %, es decir, al valor máximo permisible estipulado en dicha norma.
  
5. De los tres diseños de mezcla de mortero realizados, bajo los procedimientos especificados en la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C-109), la mezcla con menor resistencia a la compresión a las diferentes edades establecidas de 7, 14 y 28 días, fue la mezcla M3, con proporción 1:3. Sin embargo, aun siendo ésta mezcla la de menor resistencia, con respecto a las tres mezclas realizadas, sobrepasa considerablemente la resistencia mínima requerida para un mortero tipo M, con la misma proporción utilizada en la mezcla M3, la cual es de 20,00 MPa o 2 900 lb/plg<sup>2</sup>; como se especifica en la Norma NTG 41096 (ASTM C-91). Cabe mencionar que, la arena del río Motagua cumple para su uso con cemento UG, siguiendo debidamente los controles de laboratorio.

## RECOMENDACIONES

1. Compartir toda la información contenida en este trabajo de investigación a los sectores que consumen la arena del río Motagua, como lo son instituciones públicas, privadas, profesionales de la construcción y fabricantes de productos para la construcción; para dar a conocer la caracterización física y química obtenida luego de realizar una serie de ensayos y pruebas, bajo especificaciones de normas NTG y ASTM aplicables.
2. Cuando un agregado es de río, la realización de ensayos de control de calidad es imprescindible; debido a los nuevos contaminantes y materiales orgánicos que pueden irse sumando a lo largo del río con el pasar del tiempo y de las diferentes estaciones climáticas. Por lo mismo, se recomienda realizar ensayos para determinar la calidad del agregado por cada banco de material nuevo que extraigan del río Motagua.
3. Evaluar la idoneidad de la arena del río Motagua para su implementación en el concreto estructural, a través de ensayos que determinen el contenido de sulfatos y cloruros contenidos en los agregados.
4. Considerar la realización de un estudio de expansión o contracción de barras de mortero, mediante el método de ensayo descrito en la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), a edades de 28, 56 e incluso 90 días; debido a que la reacción álcali-sílice por lo general se presenta a largo plazo. Por lo mismo, es importante corroborar que el agregado del río Motagua no presente a largo plazo, una reacción deletérea o nociva al

momento de usarse en el concreto, ya que es lo que pone en riesgo la corrosión de las estructuras.

5. Debido a que los silíceos de la arena procedente del río Motagua y los álcalis del cemento hidráulico empleado no produjeron reacción deletérea en morteros y concretos; es importante evaluar la utilización de esta arena en morteros o concretos con aglomerantes diferentes al usado en este trabajo de investigación, cemento tipo Portland puzolánico; por ejemplo: morteros a base de cal, yeso, cemento blanco, entre otros. Para determinar si las propiedades mecánicas del agregado fino son iguales a las obtenidas en este trabajo de investigación; ya que de lo contrario, puede reducir la durabilidad del mortero o concreto.

## BIBLIOGRAFÍA

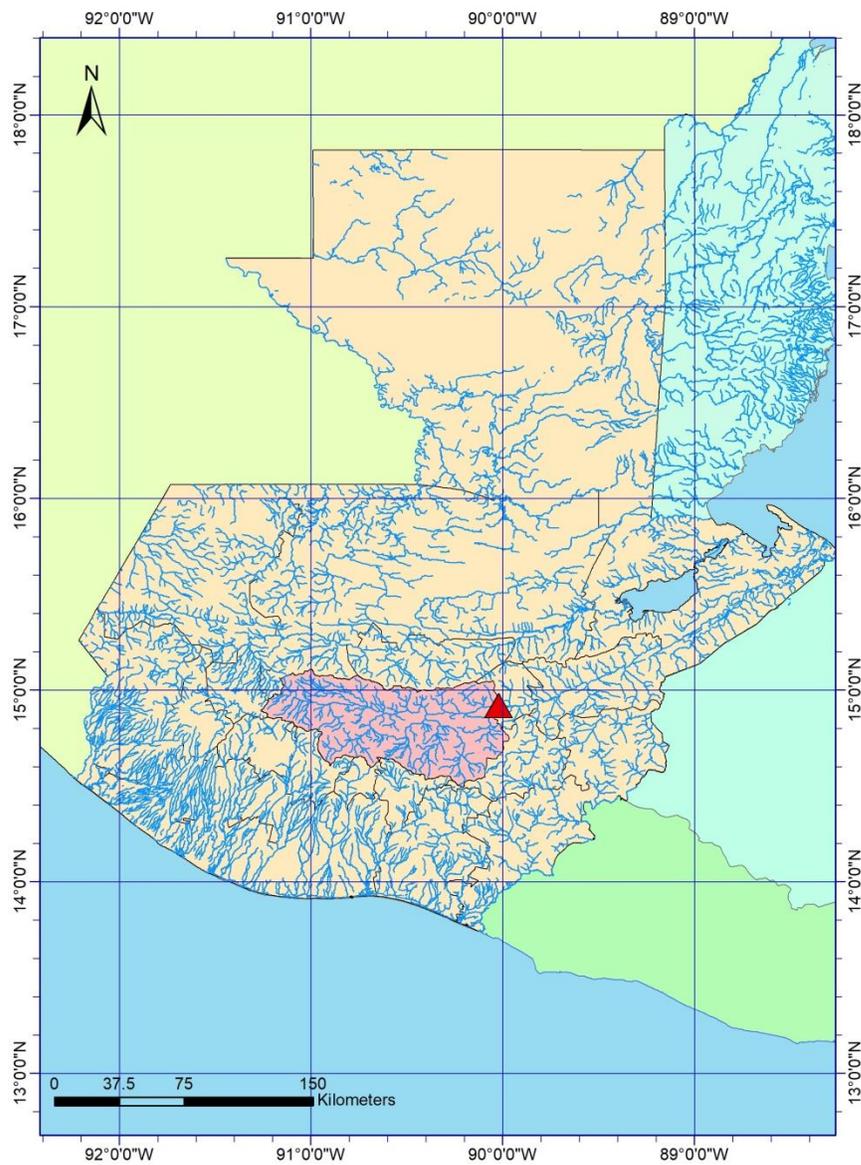
1. BARRIOS SALES, Edvin Waldemar. *Análisis y caracterización de las propiedades físicas y químicas de la arena procedente de un banco del río Michatoya, aguas abajo del puente De La Gloria en Amatitlán*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 149 p.
2. DE LEÓN FAJARDO, Luis Roberto. *Contaminación del río Motagua*. Guatemala: Dirección General de Investigación, Oficina de Estudios de Coyuntura, 2003. 65 p.
3. GEOLOGIAWEB. *Minerales*. [en línea]. <<https://geologiaweb.com/category/minerales/>>. [Consulta: 16 de febrero de 2021].
4. \_\_\_\_\_. *Rocas y tipos de rocas*. [en línea]. <<https://geologiaweb.com/tipos-de-rocas/>>. [Consulta: 16 de febrero de 2021].
5. Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala. *Normas Técnicas Guatemaltecas (NTG)*. [en línea]. <<https://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>>. [Consulta: 5 de mayo de 2018].
6. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Calidad del agua superficial de los puntos seleccionados*

*en las vertientes hidrográficas de la república de Guatemala.* [en línea]. <<https://insivumeh.gob.gt/wpcontent/uploads/2019/10/Boletin- No-22-a%C3%B1o-2019-1.pdf>>. [Consulta: 31 de enero de 2021].

7. KOSMATKA, Steven H. et al. *Diseño y control de mezclas de concreto.* Skokie, Illinois. EE.UU: Portland Cement Association, 2004. 459 p.
8. 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.

## APÉNDICE

Apéndice 1. **Mapa del área tributaria de la cuenca el Motagua al banco en estudio, visualizando todos los ríos de Guatemala**

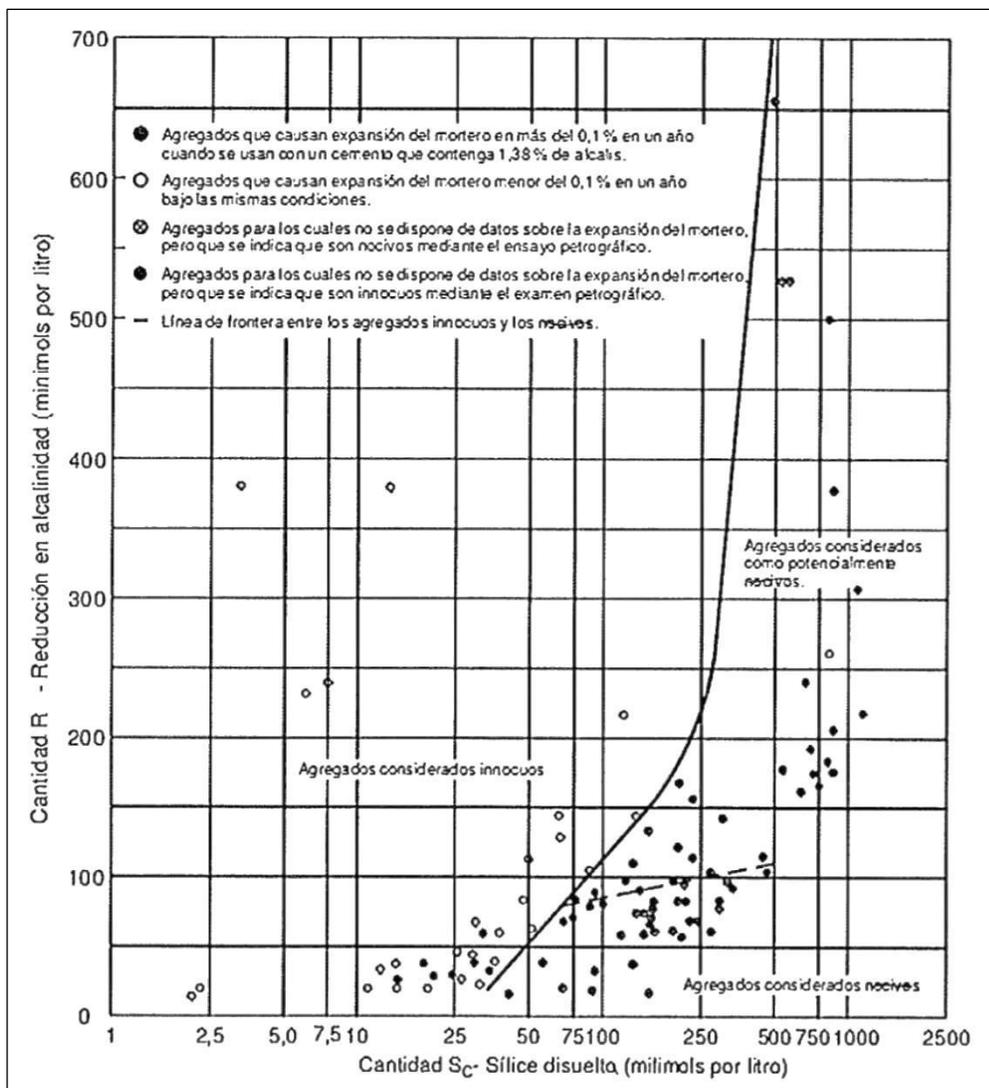


Fuente: elaboración propia. empleando ArcGIS.



## ANEXOS

### Anexo 1. División entre agregados inocuos y dañinos con base en el ensayo de la reducción en alcalinidad



Fuente: NTG 41010 h13.

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



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



---

**INFORME DE ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO**  
**NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**

**No. 17905**

O.T. No. 39066

**INTERESADO:** Brandon Edevair Estrada Taracena, Registro académico; 2013 14107.

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura del Km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala, Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 5 de noviembre de 2019

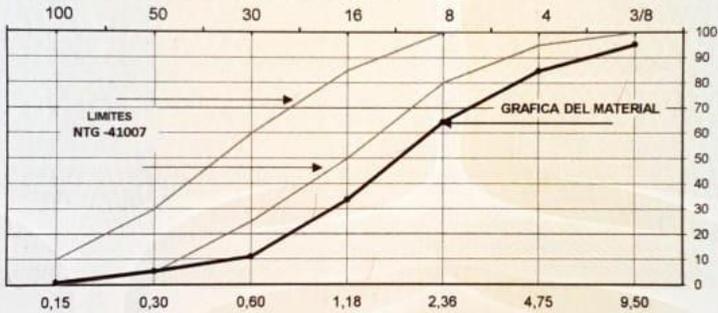
INFORME SACM - 501/19

HOJA 1/1

---

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Densidad Relativa (sss)	2,62	Porcentaje de Absorción (%)	0,50
Densidad (sss) (kg/m <sup>3</sup> )	2 610,00	Contenido de Materia Orgánica	1
Masa Unitaria, Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1 760,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1 670,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	13,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	33,00	Modulo de Finura	4,05
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	36,00		



Tamaño en Milímetros

Tamiz No.	12,50	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	95,20	84,80	64,40	33,60	11,00	5,40	1,00

**OBSERVACIONES:**

a) Muestra proporcionada por el interesado

b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.

c) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

**ATENAMENTE,**

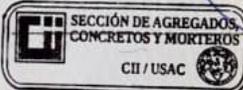
*[Signature]*

Inga. Dilia Yanet Mejicanos Jor  
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

*[Signature]*

Inga. Telma Mandela Cano Morales  
 Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
 Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
 teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 3. **Informe del ensayo de estabilidad a la disgregación mediante el uso de sulfato de sodio**



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



---

**INFORME DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DEL AGREGADO FINO MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO**

**NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

No. 17911

O.T. No. 39067

INFORME SACM - 502/19

HOJA 1/1

**INTERESADO:**

Brandon Edevair Estrada Taracena, Registro académico; 2013 14107.

**PROYECTO:**

Trabajo de graduación "Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura del Km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán".

**DIRECCIÓN:**

Ciudad de Guatemala, Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:**

5 de noviembre de 2019

---

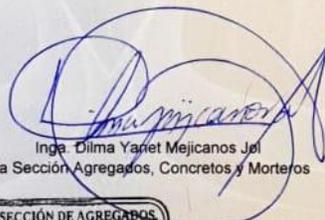
TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo (g)	Peso después de ensayo (g)	% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)	FONDO	1,00	-----	-----	-----	-----
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	4,40	-----	-----	5,60	0,2464
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	5,60	100,00	94,40	5,60	0,3136
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	22,80	100,00	95,50	4,50	1,0170
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	30,80	100,00	98,90	1,10	0,3388
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	20,40	100,00	98,40	1,60	0,3264
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	10,40	100,00	98,20	1,80	0,1872
<b>TOTALES</b>		95,20	-----	-----	-----	2,0000

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Procedencia material: Río Motagua, km 84 carretera Jacobo Árbenz Guzmán.
- c) Solución utilizada: Sulfato de sodio.
- d) Muestra de material: Agregado fino.
- e) Resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10%, según Norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).

El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

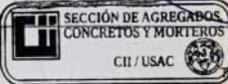


Inga Dilma Yajet Mejicanos Jel  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 4. Informe de la determinación de la reactividad potencial de agregados usando el método químico



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



---

**No. 09260**

O.T. No. 39069  
Informe QUINDLAFIQ  
RG-358-050-18

Interesado: Brandon Estrada Taracena  
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Rio Motagua altura Km 84 Carretera Jacobo Arbenz G."  
 Muestra: 1 muestra de agregado fino  
 Fecha recepción: 11 de octubre de 2018  
 Fecha de Informe: de de 2018  
 Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07

**Muestra de agregado fino**

IDENTIFICACIÓN LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DEL INTERESADO	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Silice Disuelta SC (mmol/L)	RESULTADO
RG-332-002-18-F	Agregado fino	397,9 ± 3,16	180,3 ± 3,30	Potencialmente deletéreo

Muestra proporcionada por el interesado

Grafica Adjunta.  
 Observaciones:  
**\*\* Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-277 y/o ASTM C-1260**

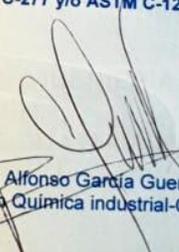
Sin otro particular,

Atentamente,

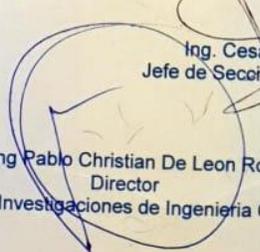
MSc. Lidia Ingrid Lora Benitez Pacheco  
Coordinadora LAFIQ-QI



Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra  
Jefe de Sección Química Industrial-CI



Vo. Bo. Ing Pablo Christian De Leon Rodriguez  
Director  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC





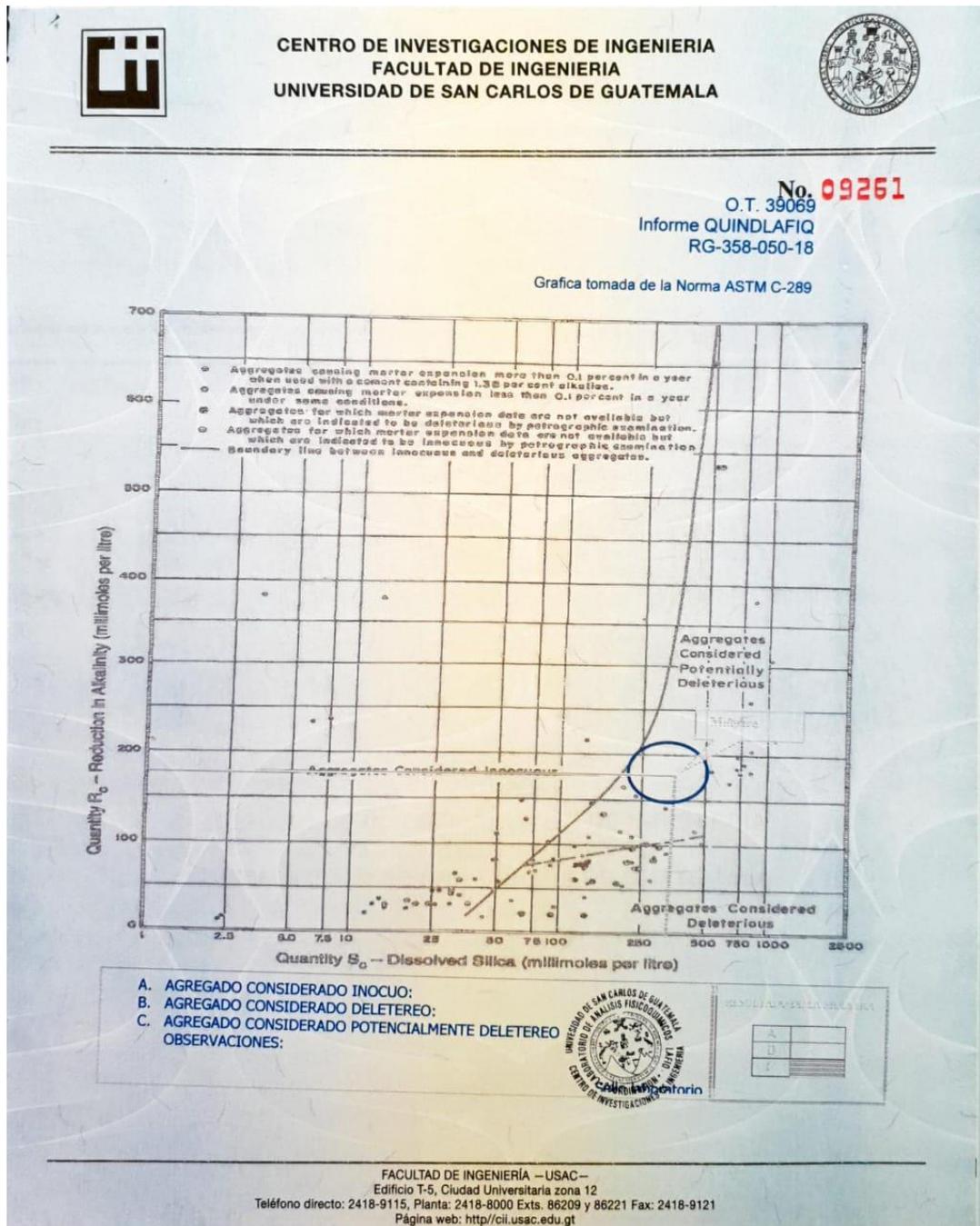


---

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: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 5. **Gráfica para la determinación de agregados inocuos y deletéreos**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 6. Informe del ensayo de reactividad álcali-agregado por el método de la barra de mortero



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



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

---

**INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO  
MÉTODO DE LA BARRA DE MORTERO  
NORMA NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)  
INFORME SACM - 503/19  
HOJA 1/1**

O.T. No. 39068

**INTERESADO:** Brandon Edevalir Estrada Taracena, Registro académico; 2013 14107.

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura del Km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala, Guatemala.

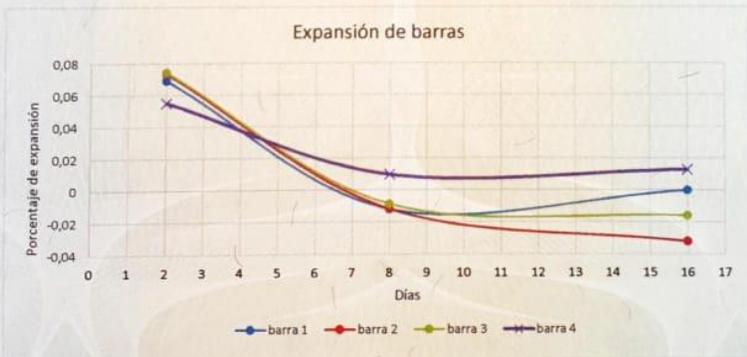
**EMISIÓN DE INFORME:** 5 de noviembre de 2019

**No. 17907**

---

		Edad en días			
		BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4
ELABORACIÓN	3/09/2019	8,6470	8,6560	6,1640	8,0380
LECT. INICIAL	4/09/2019 1	8,8200	8,8400	6,3500	8,1760
LECT. CERO	5/09/2019 2	8,8200	8,7600	6,3100	8,2080
LECT. FINAL	19/09/2019 16	0,0000	-0,0320	-0,0160	0,0128
% EXPANSIÓN DE CADA BARRA					
% EXPANSIÓN PROMEDIO		-0,0088			

Expansión de barras



**OBSERVACIONES:**

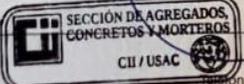
- Las lecturas de expansiones son el promedio de 4 muestras.
- La proporción que se usó para la fabricación de barras es 1 parte de cemento, 2,25 partes de arena proporcionada por el interesado y 0,47 partes de agua.
- Se utilizó Cementos Progreso UGO.
- El valor límite permisible según norma ASTM C-1260 es de 0,20 %.

El presente informe únicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

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

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



SECCIÓN DE AGREGADOS  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Anexo 7. Informe del ensayo a compresión de morteros M1 y M2



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



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS**  
**NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109)**  
**INFORME SACM - 504/19**  
**HOJA 1/2**

O.T. No. 39158

**INTERESADO:** Brandon Edevair Estrada Taracena, Registro académico; 2013 14107.

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura del Km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala, Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME** 5 de noviembre de 2019

**No. 17908**

---

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**MEZCLA 1 (M1)**

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm <sup>2</sup>	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
M1-01	29/10/2018	7	26,112	25 700	43,80	6 360
M1-02	29/10/2018	7	26,522	26 200	43,90	6 370
M1-03	29/10/2018	7	26,522	25 300	42,40	6 150
M1-04	29/10/2018	14	26,574	30 900	51,70	7 500
M1-05	29/10/2018	14	26,060	28 200	48,10	6 980
M1-06	29/10/2018	14	25,604	29 900	51,90	7 530
M1-07	29/10/2018	28	26,060	34 000	58,00	8 420
M1-08	29/10/2018	28	26,060	34 000	58,00	8 420
M1-09	29/10/2018	28	26,313	31 700	53,60	7 780

**MEZCLA 2 (M2)**

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm <sup>2</sup>	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
M2-01	29/10/2018	7	26,625	22 100	36,90	5 350
M2-02	29/10/2018	7	26,677	20 500	34,20	4 960
M2-03	29/10/2018	7	26,316	21 500	36,30	5 270
M2-04	29/10/2018	14	26,413	25 700	43,30	6 280
M2-05	29/10/2018	14	26,212	25 600	43,40	6 300
M2-06	29/10/2018	14	26,418	26 900	45,30	6 570
M2-07	29/10/2018	28	26,365	31 600	53,30	7 730
M2-08	29/10/2018	28	26,416	30 700	51,70	7 500
M2-9	29/10/2018	28	26,161	28 000	47,60	6 910

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

LL

---

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
 Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121, Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

