



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

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA
AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL
PROGRESO**

Edgar Rolando Velásquez López

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA
AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL
PROGRESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR ROLANDO VELÁSQUEZ LÓPEZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

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. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (i. a.)
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
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:

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA
AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL
PROGRESO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha de mayo 2013.

Edgar Rolando Velásquez López



Guatemala, 1 de marzo de 2023

Ingeniero Civil

Hugo Leonel Montenegro Franco

Coordinador del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Montenegro:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación con el tema **“ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO”**; elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil **Edgar Rolando Velásquez López**, quien se identifica con Registro Académico número **200714259** y Documento Personal de Identificación **1626-99832-0101**, considerando que dicho trabajo cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil. Por lo anterior, doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Cot. 5947

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Asesora de trabajo de graduación





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 8 de marzo de 2,023

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 "ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil, Edgar Rolando Velásquez López, 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. Civil Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe de área de materiales y construcciones civiles.





LNG.DIRECTOR.099.EIC.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO**, presentado por: **Edgar Rolando Velásquez López**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, abril de 2023



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.416.2023

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: **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, MECÁNICA, QUÍMICA Y PETROGRÁFICA PARA AGREGADOS DE UN BANCO DE SERPENTINITA EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO**, presentado por: **Edgar Rolando Velásquez López**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser ese amigo que nunca falla, el que ha estado en los momentos más importantes de mi vida.
- Mis padres** Edgar Velásquez y Lety López, por ser los instrumentos de Dios para darme vida, amor, educación, formación moral y espiritual a través de esfuerzos y sacrificios.
- Mi esposa** Lourdes Medrano, por darme siempre su apoyo, paciencia y amor incondicional en todo momento.
- Mi hijo** Edgar Velásquez, por ser esa fuente de amor e inspiración.
- Mis hermanas** Karina y Patricia Velásquez, Que la unidad que ha existido entre nosotros se mantenga por siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional durante todos estos años.

Facultad de Ingeniería Por permitirme forjar mis conocimientos en sus aulas.

Inga. Dilma Mejicanos Por su asesoría y apoyo incondicional en el presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Generalidades para la caracterización del agregado serpentinita.....	1
1.1.1. Definición y características del agregado.....	1
1.1.2. Descripción de la metodología general de caracterización.....	3
1.1.2.1. Análisis de las características físicas del agregado.....	3
1.1.2.2. Análisis de las propiedades mecánicas del agregado	9
1.1.2.3. Análisis de las propiedades químicas del agregado.....	10
1.1.2.4. Análisis de las características petrográficas del agregado.....	11
2. LOCALIZACIÓN DEL BANCO EN ESTUDIO.....	13
2.1. Ubicación y localización.....	14
2.2. Localización cartográfica y extensión.....	15

2.3.	Vías de acceso	16
2.4.	Beneficios del banco en el área de influencia	17
3.	GEOLOGÍA REGIONAL	19
3.1.	Marco geológico regional.....	20
3.2.	Marco geológico estructural.....	24
3.3.	Geología del área de influencia del banco en estudio	25
3.4.	Geología estructural del área de influencia del banco en estudio.....	26
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	29
4.1.	Caracterización física	29
4.1.1.	Granulometría bajo la norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136).....	30
4.1.1.1.	Maquinaria y equipo	32
4.1.1.2.	Procedimiento	32
4.1.1.3.	Cálculos y resultados	34
4.2.	Caracterización química	38
4.2.1.	Resultados del ensayo de la reactividad potencial del agregado fino según la Norma NTG 41010 h13.....	38
4.2.2.	Reactividad potencial de los agregados, NTG 41010 h13 (ASTM C-289)	40
4.2.2.1.	Selección y preparación de la muestra.....	41
4.2.2.2.	Procedimiento	42
4.3.	Caracterización petrográfica.....	43
4.3.1.	Usos de los análisis petrográficos	45
4.3.2.	Selección de las muestras para el examen.....	45

4.3.3.	Examen de la grava natural.....	46
4.3.4.	Cálculos y resultados.....	47
4.3.4.1.	Resultados de la norma COGUANOR NTG 41088, propiedades químicas y mineralógicas	48
4.4.	Caracterización mecánica.....	49
4.4.1.	Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, Norma COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C- 131).....	49
4.4.1.1.	Maquinaria y equipo	50
4.4.1.2.	Procedimiento.....	51
4.4.1.3.	Cálculos y resultados	52
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	59
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización del departamento de El Progreso (área de estudio) con sus colindancias.....	14
2.	Hoja topográfica de El Progreso.....	16
3.	Principales vías de acceso al banco en estudio.....	17
4.	Corte longitudinal de una pieza de serpentinita	18
5.	Mapa de identificación de bloques geológicos.....	22
6.	Grafica de resultados del agregado grueso	36
7.	Grafica de resultados del agregado fino.....	37
8.	Gráfico de expansión de barras	40
9.	Representación microscópica de la composición de la serpentinita.....	48

TABLAS

I.	Límites de granulometría según la Norma NTG 41007 h1	4
II.	Cantidad de material en unidades de peso para realizar el cuarteo en el ensayo de contenido de humedad.....	6
III.	Tolerancia de impurezas orgánicas.....	8
IV.	Límites granulométricos del agregado fino.....	29
V.	Límites granulométricos del agregado fino natural y manufacturado ...	31
VI.	Granulometría del agregado grueso.....	35
VII.	Características físicas del agregado grueso	35
VIII.	Granulometría del agregado fino para el punto 1.....	36
IX.	Características físicas del agregado grueso	37

X.	Determinación de la reactividad potencial del agregado fino según la norma NTG 41010 h13.....	38
XI.	Porcentajes de expansión, y expansión promedio de barra ensayada según normativa NTG 41010 h 14	39
XII.	Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico	46
XIII.	Resultados del examen petrográfico.....	49
XIV.	Tipo de abrasión según granulometría.....	52
XV.	Resultado de ensayo de abrasión con máquina de los Ángeles	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Mmol/L	Cantidad de una sustancia igual a una milésima de un mol
°C	Grados Celsius
g	Gramo
±	Incerteza
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
m	Metro
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
plg	Pulgadas
sss	Saturada de superficie seca (Densidad Relativa)

GLOSARIO

Abrasión	Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials).
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería.
COGUANOR	Comisión guatemalteca de Normas.
Deletéreo	Dañino o reactivo con la mezcla de concreto.
Disgregación	Acción de separar las partes que antes eran las constituyentes de una totalidad.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
Petrográfico	Campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas.

RESUMEN

Actualmente Guatemala va en aumento a lo que se refiere en la construcción con concreto y concreto armado y para ello es necesario contar con bancos de agregados pétreos en diferentes partes del país, en este trabajo de investigación se realiza el estudio de un banco de serpentinita, situado en el municipio de Morazán, El Progreso.

Para esto, se utilizó la Norma NTG 41007, en la cual se dan especificaciones de agregados para la fabricación de concreto. NTG 41010 h20 indica el método de ensayo estándar para resistencia a la degradación del agregado por abrasión en la máquina de los Ángeles. NTG 41010 h13 se describe el método estándar para reactividad potencial de agregados por el método químico. NTG 41010 h15 utiliza el método acelerado de barra de mortero para determinar la reactividad potencial álcali-sílice de combinaciones de materiales cementantes y agregados y la norma NTG 41088 indica los estándares para el examen petrográfico de agregados para concreto.

Con los resultados de los ensayos mencionados, se concluyó que el agregado de este banco no es el idóneo para la fabricación de concreto, porque no cumple con todos los parámetros de dichas normas.

OBJETIVOS

General

Realizar la caracterización física, química, mecánica y petrográfica de un banco de material no convencional “serpentinita”, ubicado en el Municipio de Morazán, El Progreso, para su utilización en la industria de la construcción.

Específicos

1. Caracterizar un banco de serpentinita en el Municipio de Morazán, El Progreso.
2. Determinar las propiedades y características del material no convencional por medio de los ensayos según requerimientos de las normas NTG, para su uso en la elaboración de concreto.
3. Identificar por medio del examen petrográfico posibles minerales o sustancias que posea la serpentinita y que puedan reaccionar con el concreto.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que generalmente se encuentra en la construcción al utilizar el concreto, es la poca verificación y conocimiento de las características de los agregados que se utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados, y como se sabe para producir un buen concreto estructural es necesaria una buena calidad de agregados. Este es el punto sobre el que trata este estudio, y tiene como objeto la caracterización de un banco de serpentinita, ubicado en el municipio de Morazán, El Progreso.

Para efectuar los análisis de calidad de agregados para concreto se aplicarán las normas internacionales de referencia ASTM, y las normas nacionales COGUANOR, que cubren los ensayos para determinar la calidad de agregados en lo que a características y propiedades físicas, mecánicas, petrográficas y químicas se refiere.

Con esto se pretende tener un instrumento de ayuda, debido a que, para contar con un concreto de buena calidad, hace indispensable conocer al detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades analizadas del agregado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades para la caracterización del agregado serpentinita

Los agregados deben estar constituidos por partículas de resistencia adecuada, las condiciones de intemperie y no deben contener materiales que originen el deterioro del concreto. Es deseable una granulometría de los tamaños de partículas para el uso eficiente en la estructura, y de una buena adherencia con la pasta de cemento y agua.

Cuando no se tienen antecedentes sobre la naturaleza de los agregados o estos serán empleados para otras aplicaciones diferentes de las comunes; se deberán realizar ensayos de caracterización por medio de análisis mineralógicos, petrográficos, físicos y químicos, como lo es en este caso del estudio de la serpentinita.

Según lo establecido por las Normas Técnicas Guatemaltecas para el ensayo de materiales, se describen los lineamientos teóricos que son necesarios para los análisis y la caracterización del agregado serpentinita, en los cuales se utilizarán normas para ensayos de abrasión y poder determinar su resistencia, o bien el ensayo de reactividad potencial y así poder determinar si el material es deletéreo.

1.1.1. Definición y características del agregado

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

La serpentina ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), es un término que engloba principalmente los minerales lizardita, antigorita y crisotilo, siendo los dos primeros los más frecuentes. Son minerales hidratados cuyo origen suele estar ligado en rocas ígneas a la alteración de minerales ricos en Mg como olivino y piroxenos. Sus principales características son color verde pálido o incolora, bajo relieve, hábito fibroso y colores en tonos grises o azulados de primer orden.

El proceso de serpentización sigue con una serie de cambios químicos y mineralógicos que tienen como objetivo sustituir minerales primarios por otros que contienen alto contenido en volátiles, siendo una de ellas la carbonatación. Durante la modificación de las diferentes fases minerales pueden ocasionar que la roca se comporte de diferentes maneras en cuanto a sus características físico-mecánicas y su reacción con el cemento en la construcción.

Debido a que muchas de las rocas que se explotan para uso ornamental tienen un alto grado de carbonatación; las serpentinitas se engloban en las fichas técnicas de los mármoles y, de hecho, en la industria de la roca ornamental se les conoce como “mármol verde”. Sin embargo, la diferente historia en la petrografía de estas rocas hace que a veces se presente un contenido muy elevado de serpentinita y poco de carbonato; en algunas ocasiones puede presentarse un porcentaje elevado de carbonato, conservando los residuos de la mineralogía original y de los minerales metálicos.

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

Para la proporción de las mezclas de concreto se requiere conocer las características del agregado: la densidad, granulometría y estado de humedad, asimismo la porosidad, forma y textura de la superficie para la determinación de las propiedades de las mezclas del concreto fresco y endurecido.

La roca puede aparecer tanto en forma masiva como fuertemente esquistosa. La deformación más intensa se crea a menudo en superficies de deslizamiento onduladas de color verde claro, brillantemente pulidas, entre las cuales suelen aún reconocerse lentes de serpentinita residuales masivas. Las rocas intensamente serpentinizadas están constituidas por antigorita.

1.1.2. Descripción de la metodología general de caracterización

Se describirá sobre los procedimientos en los que se determinarán las características físicas y las propiedades mecánicas, químicas y petrográficas del agregado serpentinita. Teniendo como objetivo conocer información sobre sus compuestos, por ejemplo: su grado de dureza al desgaste o reactividad química entre otras propiedades, esto para definir si es posible su uso en la elaboración de concreto estructural.

1.1.2.1. Análisis de las características físicas del agregado

Éstas permiten estudiar las características de los materiales usando los sentidos o alguna herramienta específica de medida. Éstas se manifiestan básicamente en los procesos físicos como la granulometría, absorción, contenido de humedad, peso específico, peso unitario y el contenido de materia orgánica.

- Granulometría NTG 41007 h1

La granulometría es la distribución de las partículas de materiales granulares de varios tamaños, que se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o menores, que cada una de las series de tamaños o aberturas de mallas, o los porcentajes entre ciertos rangos de aberturas de mallas. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

El tamaño del agregado se encuentra en función a las necesidades específicas para el diseño del concreto. La granulometría en el agregado grueso debe conformar los requerimientos descritos en la Norma NTG 41007 h1.

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Límites de granulometría según la Norma NTG 41007 h1**

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
$\frac{3}{8}$ " (9.5 mm)	100 %
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600 μ m)	25 a 60 %
No. 50 (300 μ m)	10 a 30 %
No. 100 (150 μ m)	2 a 10 %

Fuente: COGUANOR. *NTG 41007. Agregados para concreto. Especificaciones.* p. 8.

- Absorción NTG 41010 h8 y NTG 41010 h9

La absorción se puede definir como el incremento de la masa de un agregado a través de la penetración del agua dentro de sus poros permeables. La absorción de los agregados depende de las características físicas del material: porosidad e impermeabilidad. Estos factores intervienen en el peso específico del agregado y como consecuencia de esto, afecta el rendimiento del concreto para determinado agregado.

- Contenido de humedad NTG 41010 h19

Los agregados están compuestos por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado.

Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

- Seco al horno, completamente seco y absorbente
- Seco al aire, seco en su superficie, pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.
- Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.

- Saturado y de superficie seca, condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.

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

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

Tamaño de agregado	Peso de la muestra
Menor de 4.76 μm	200 gramos
de 4.76 a 19.0 μm	500 gramos
de 19.1 a 38.1 μm	1 000 gramos
Mayor a 38.1 μm	1 000 gramos

Fuente: COGUANOR. *Norma NTG 41010 h19. Método de ensayo. Determinación por secado del contenido total de humedad evaporable en el agregado.* p. 7.

- Peso específico NTG 41010 h8 y NTG 41010 h9

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico.

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

El peso específico relativo para agregados finos se determina por métodos descritos en la Norma NTG 41010 h9 y para agregado grueso NTG 41010 h8, que consiste en medir el desplazamiento del agua producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

El peso específico varía de 2.4 a 2.9 usualmente siendo mejores agregados los de mayor peso específico.

- **Peso unitario NTG 41010 h2**

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de las Normas Técnicas Guatemaltecas. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento y por el contenido de humedad; por lo que se calcula con el material seco o con distintos grados de humedad, asentado o suelto según indicación de la norma NTG 41010 h2.

- **Contenido de materia orgánica NTG 41010 h4**

En los agregados finos naturales a veces se presentan impurezas orgánicas, que afectan la hidratación del cemento y el aporte negativo en la resistencia. Para detectar el contenido de impurezas orgánicas puede determinarse por medio de la prueba colorimétrica de impurezas orgánicas, donde; si ésta produce un color más oscuro de lo habitual mayor que el número

3, el agregado fino será considerado como agregado con impurezas orgánicas perjudiciales, por lo cual no es aceptado.

La cantidad de impurezas orgánicas en los agregados finos no deberá exceder los valores de la tabla III. Cuando el agregado fino no cumpla con estos requerimientos puede llegar a ser aceptado, con la condición de que el concreto tenga propiedades similares a un concreto fabricado con agregados de la misma fuente y que haya dado resultados satisfactorios al ser expuesto a un ambiente con características similares.

Tabla III. **Tolerancia de impurezas orgánicas**

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

Fuente: COGUANOR. *Norma NTG 41010 h4. Método de ensayo. Determinación de la materia orgánica en los agregados finos para concreto.* p. 7.

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

1.1.2.2. Análisis de las propiedades mecánicas del agregado

Una de las propiedades mecánicas de los agregados que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia es la dureza. En la elaboración de concretos sometidos a elevados porcentajes de desgaste por roce o abrasión, como aplicaciones en pavimentos o revestimientos de canales; la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales, generalmente se determina indirectamente, por medio de un ensayo denominado desgaste en la máquina de Los Ángeles.

El ensayo de desgaste es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultante de una combinación de acciones, incluyendo abrasión o atracción, impacto y pulimiento en un tambor de acero giratorio que contiene una carga específica de esferas de acero, dependiendo este número de la graduación de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una placa recoge la muestra y las esferas de acero, transportándose alrededor hasta que caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto-trituración.

El contenido gira dentro del tambor con una acción de abrasión y pulimento hasta que la placa hace impacto y se repite el ciclo, después del número establecido de revoluciones, se remueven los contenidos del tambor y la porción de agregado se tamiza para medir la degradación como pérdida porcentual. El ensayo en la máquina de Los Ángeles se ha utilizado ampliamente como un indicador de la calidad relativa de varias fuentes de agregados que tengan composiciones minerales similares.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas. El método utilizado se basó en la Norma NTG 41010 h20 la cual cubre para ensayos de desgaste de agregados gruesos de tamaño hasta de 1½ pulgadas (37,5 mm).

1.1.2.3. Análisis de las propiedades químicas del agregado

El análisis químico para un agregado consiste en determinar la reactividad potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con cemento Portland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas en una solución de hidróxido de sodio y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase la malla No. 50 y quede retenido en la malla No.100.

Las reacciones entre una solución de hidróxido de sodio y agregado silíceo han demostrado correlación con el desempeño del agregado en estructuras de concreto, por lo que debe ser utilizado en las nuevas fuentes de agregados que se están evaluando.

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

Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente, los cuales pueden mostrar la necesidad para su uso, y se obtiene información adicional a través de los métodos establecidos en las Normas NTG 41010 h14 y NTG 41088 (método de la barra de mortero y análisis petrográfico, respectivamente).

Puede ser utilizado también el método de la barra de mortero, el cual indica en la Norma NTG 41010 h14, la verificación en la variación de longitud de las barras de mortero sumergidas en una solución de 1N de hidróxido de sodio (NaOH), y la reactividad potencial álcali-sílice en un período de 16 días.

1.1.2.4. Análisis de las características petrográficas del agregado

La petrografía tiene por objeto el estudio de la composición, estructura, situación, relaciones mutuas, formación y alteración de las rocas. La calidad de los agregados se puede evaluar mediante comparación con otros ya conocidos, cuando se realizan exámenes visuales y análisis litológicos, las técnicas para ejecutar el análisis petrográfico se encuentran descritas en la Norma NTG 41088.

Los procedimientos específicos empleados en el examen petrográfico de cualquier muestra dependen en gran parte del propósito del examen y la naturaleza de la muestra. En la mayoría de los casos el examen requerirá el uso de análisis microscópico.

Los exámenes petrográficos completos para propósitos particulares pueden requerir exámenes de agregados o de componentes seleccionados por medio de los procedimientos adicionales, como la difracción de la radiografía (XRD), el análisis diferencial térmico (DTA), el espectroscopio infrarrojo u otro examen del electrón al microscopio (SEM), análisis de rayos X para la dispersión de energía (EDX). En algunos casos, estos procedimientos son más rápidos y fiables que los métodos del microscopio.

La identificación de los materiales constituyentes de una muestra es usualmente un paso necesario para poder determinar lo que se puede esperar

acerca del comportamiento del material en el uso que se le va a dar. El valor de cualquier examen petrográfico dependerá en gran parte de la representatividad de las muestras examinadas, la integridad y exactitud de la información; así como la habilidad del petrógrafo de poner en correlación los datos acerca de la fuente y propuestas para el uso del material con los del examen.

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

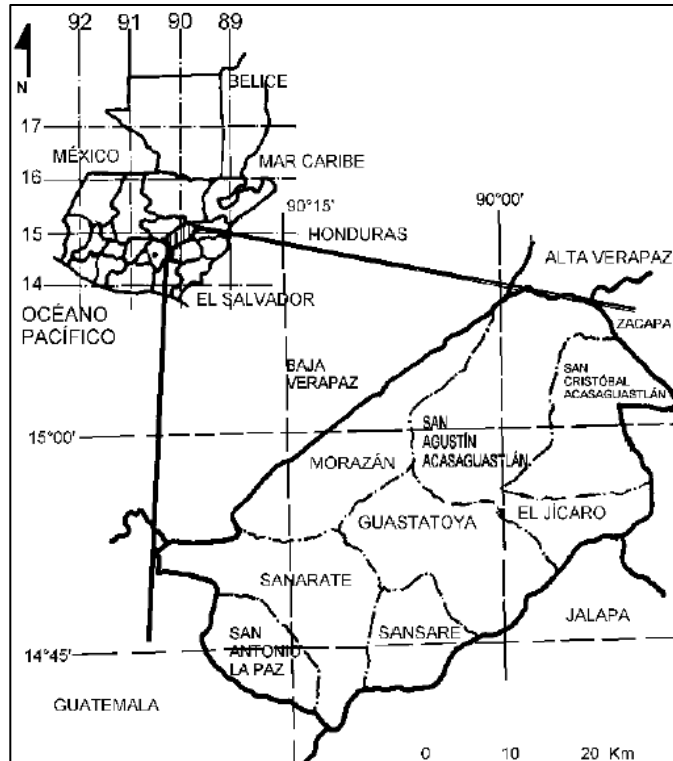
2. LOCALIZACIÓN DEL BANCO EN ESTUDIO

Para llevar a cabo este estudio se consideró un banco de material de serpentinita en el municipio de Morazán departamento de El Progreso. Dicho departamento se ubica en la zona central del país y tiene una extensión superficial de 1,922 km², equivalentes a 1.7 % del territorio nacional.

El departamento de El Progreso queda comprendido entre las coordenadas geográficas siguientes: paralelos 14°38' a 15°08' de latitud Norte y los meridianos 89°47' a 90°24' de longitud oeste. (Ver figura 1).

Colinda al norte con Purulhá municipio de Baja Verapaz; al este con San Agustín Acasaguastlán, municipio de El Progreso; al sur con Sanarate y Guastatoya, municipios de El Progreso; al oeste con San Jerónimo, municipio de Baja Verapaz y al suroeste con Salamá municipio de Baja Verapaz. Cuenta con una población total de 11,747 habitantes.

Figura 1. **Localización del departamento de El Progreso (área de estudio) con sus colindancias**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. *Monografía Geológico-Minera del departamento de El Progreso*. p. 12.

2.1. Ubicación y localización

Morazán es un municipio del departamento de El Progreso que se ubica en la región nororiental de la República de Guatemala. Cuenta con una extensión territorial de 329 km² y se encuentra a 349,5 msnm.

El banco en estudio se encuentra a 2 000 m del parque central de Morazán, El Progreso, en el caserío el Moral. Las coordenadas globales del

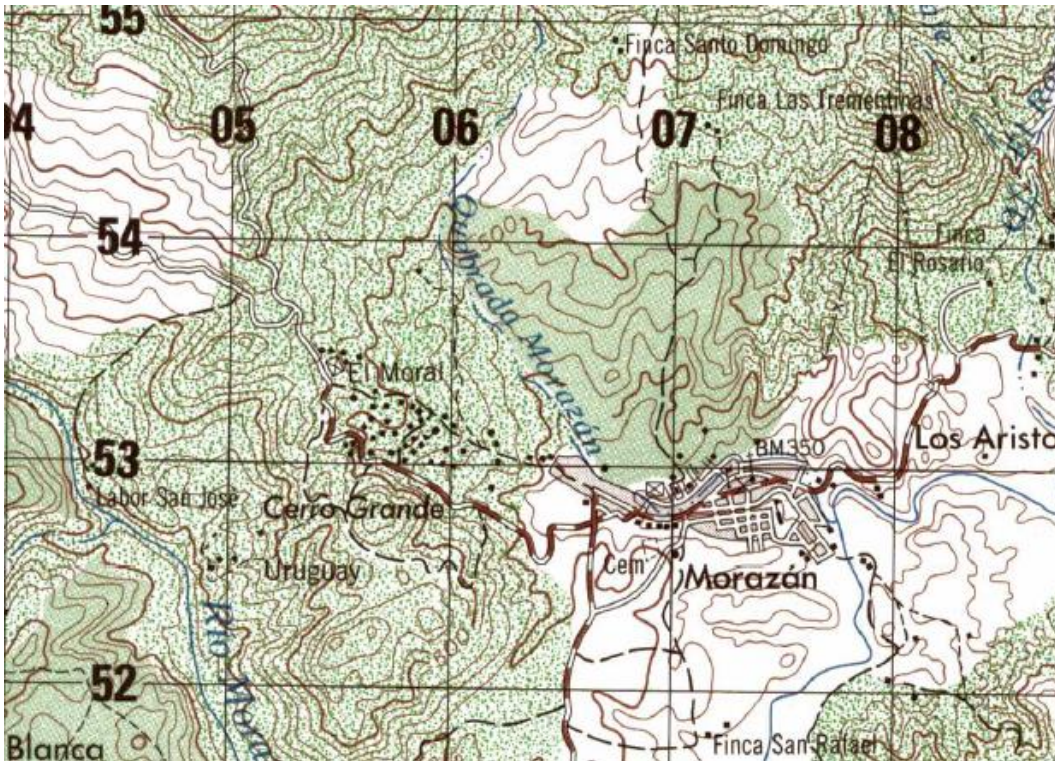
banco son: latitud norte 14°56'23.2" y longitud oeste 90°09'41.7" y con una altitud de 382 msnm.

Este banco se eligió debido a su importancia en lo que se refiere a ubicación geográfica y volumen de extracción. Por las condiciones geológicas de estas áreas se podría contemplar su explotación tipo industrial para el comercio y uso en la construcción.

2.2. Localización cartográfica y extensión

El banco en estudio se encuentra ubicado a 2 000 m del centro del municipio de Morazán y con una extensión de 0,34 km². La altimetría presentada en dicho banco es de 382 msnm, en base al mapa de altitudes de Guatemala y ubicación en el punto. (Ver figura 2).

Figura 2. Hoja topográfica de El Progreso



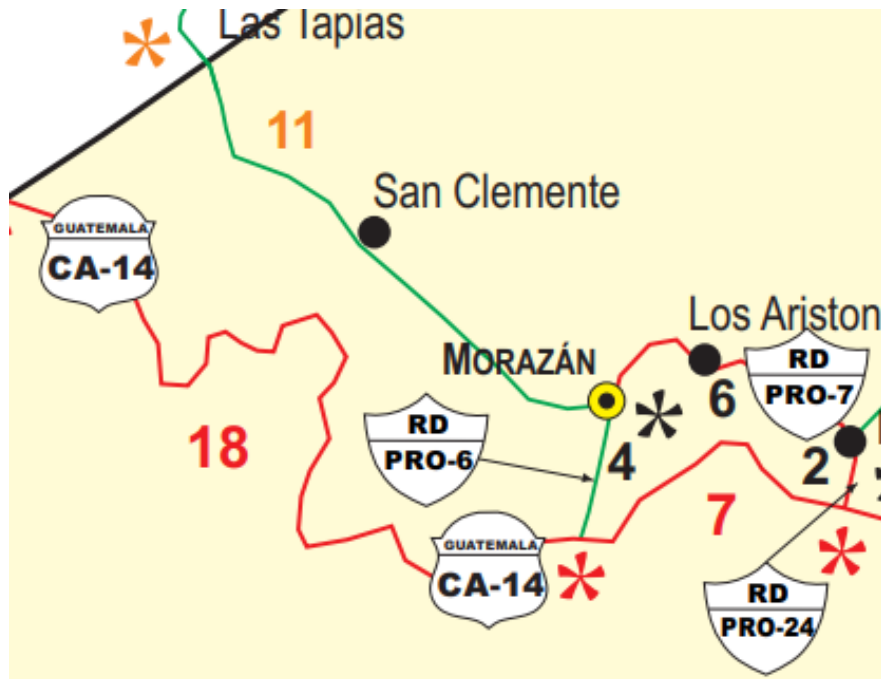
Fuente: Instituto Geográfico Nacional IGN. *Mapa topográfico escala 1:50,000 El Progreso. Hoja 2160 I-1996.*

2.3. Vías de acceso

El acceso al banco en estudio se puede llegar desde la ciudad capital por medio de la carretera centroamericana CA-9 en dirección a El Rancho, luego hacia las Verapaces por medio de la carretera CA-14. La distancia de Morazán a la ciudad capital es de 102 km y hacia la cabecera departamental Guastatoya es de 31 km aproximadamente.

Se transita por la carretera RD PRO-6 para llegar a Morazán, la vía hacia el punto en estudio son 4 kilómetros, esta asphaltada y transitable en su totalidad con cualquier tipo de transporte. (Ver figura 3).

Figura 3. Principales vías de acceso al banco en estudio



Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Mapa de la red vial, El Progreso*. Dirección General de Caminos de Guatemala 2012. p. s/n.

2.4. Beneficios del banco en el área de influencia

La serpentinita es un mineral utilizado en la industria de la construcción principalmente como material ornamental, llamado también mármol verde. Se explota a nivel industrial (cuando no está fracturado), y se pueden obtener bloques tabulares para revestimiento de edificaciones, los fragmentos pequeños

son utilizados en la fabricación de pisos y pequeños objetos decorativos de mesa o escritorio. (Ver figura 4).

La explotación de este mineral ha generado fuentes de trabajo para los pobladores, se ha realizado por métodos subterráneos y a cielo abierto; siendo a cielo abierto la mejor opción, por sus ventajas como: mayor seguridad de los trabajos mineros, empleo de equipo y maquinaria de mayor capacidad, optimización de las operaciones mineras.

Figura 4. **Corte longitudinal de una pieza de serpentinita**



Fuente: elaboración propia.

3. GEOLOGÍA REGIONAL

La serpentinita es una roca de color verde a gris verdoso, de grano muy fino, de textura variable dependiendo del grado de serpentinización, puede ser cizallada o masiva; su valor ornamental aparte del color está determinado por esto último, lo cual es muy variable.

En el mercado de rocas ornamentales se le conoce comercialmente como mármol verde. Existen varios tipos con nombres a veces establecidos por criterios geográficos; en Guatemala se explotan las variedades Verde Tikal y Verde Quetzal, principalmente.

Entre las características necesarias para considerar el potencial económico de la serpentinita, además del color y la textura, están la fracturación (debe ser mínima), alteración (a veces se altera a talco o carbonatos), accesibilidad y volumen. La mayoría de estas no se cumplen en la unidad de Peridotita Serpentinizada por aspectos geológicos, pero en el mélange los cuerpos elipsoidales sí lo hacen.

El área en estudio está ubicada dentro de una de las jurisdicciones fisiográficas de Guatemala, y se denomina con el nombre de: La Cordillera Central, y está formada de rocas cristalinas y sedimentarias paleozoicas y mesozoicas, que se extienden desde Chiapas hasta el mar Caribe; estructuralmente es un arco con orientación este, oeste, convexo hacia el sur.

Los estudios geológicos indican que en esta área las rocas paleozoicas expuestas forman parte del Basamento Metamórfico pérmico, y está dividida en dos grupos denominados: Grupo Chuacús y Bloque Chortí.

3.1. Marco geológico regional

La región cercana al banco en estudio está constituida por rocas ultra básicas con diferentes grados de serpentinización. Las peridotitas serpentinizadas predominantes son harzburgitas, lherzolitas y piroxenitas, con cromita, esfena y jadeíta como sus componentes.

La coloración de la roca sana es de verde oscuro a negro, alteradas pueden formar suelos de poco espesor, color café rojizos.

Como parte también de la composición de la serpentinita en la región la serpentinita presenta una fuerte fractura y una intrincada red de vetas de magnesita, que observadas al microscopio se puede apreciar que están constituidas por una matriz de cristales de olivino xenomórfico (de 1 a 6 mm), con los bordes de los cristales a menudo serpentinizados.

La edad del emplazamiento de las peridotitas y de serpentinización no está claramente definida, inicialmente fue considerada como postpérmico a prejurásico. Las relaciones estratigráficas de las serpentinas y las rocas serpentinizadas son discordantes, en la parte inferior con la unidad de rocas del paleozoico superior y en la parte superior con la unidad capas rojas de jurásico-cretácico.

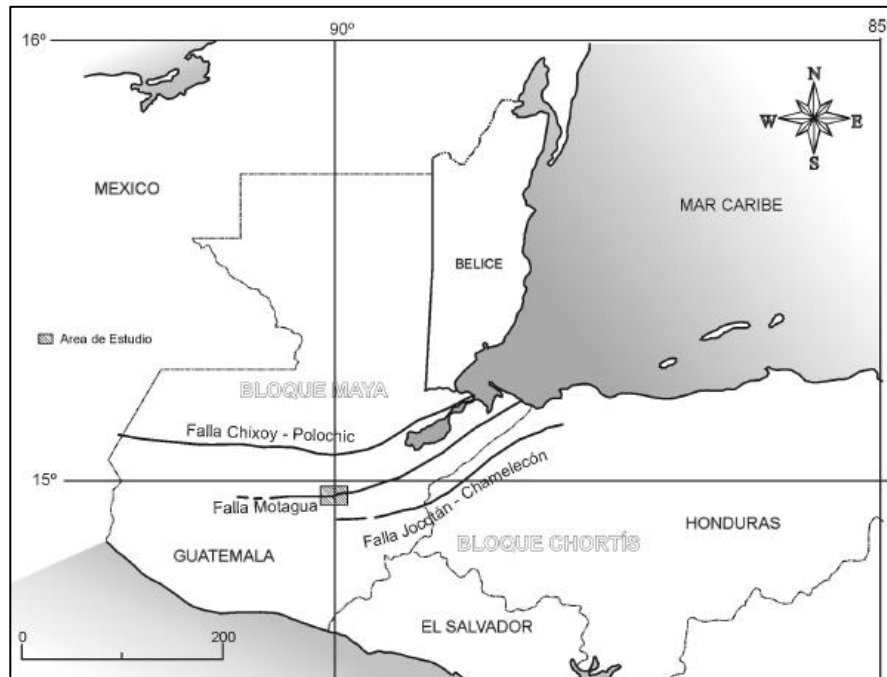
- Bloque Chortí

El Bloque Chortí está compuesto de exposiciones de rocas metamórficas como la serpentinita y rocas pre-mesozoicas extensas y distribuidas de la Placa del Caribe (ver figura 5). Las rocas metamórficas revelan complejas historias, en algunas ocasiones pueden no ser correlativas a través del bloque. Este bloque logra ser en algunas ocasiones un mosaico de pequeños fragmentos de corteza de origen diverso.

En la composición metamórfica del bloque Chortí se puede apreciar una gruesa secuencia de rocas sedimentarias Mesozoicas continentales y marinas. Las rocas mesozoicas areniscas y lutitas de agua dulce o salobre son las más antiguas; y portadoras de restos de plantas de Triásico Tardío Jurásico Medio, y son conocidas como: formación de agua fría.

El bloque Chortí está definido al noroeste por la zona de falla del Motagua y al sudoeste por la Fosa Mesoamericana, margen de la Placa de Cocos. Su fisiografía refleja su historia tectónica y se puede subdividir en distintas regiones morfotectónicas: sierras norteñas, tierras altas centrales, planicies sur y la cadena volcánica del Pacífico. Todo esto ha sido cortado y delineado parcialmente por sistemas característicos de fallas mayores, que reflejan tanto la inestabilidad pasada como la neotectónica.

Figura 5. **Mapa de identificación de bloques geológicos**



Fuente: CHIQUIN YOJ, Mauricio. *Geología del cuadrángulo El Progreso*. p. 8.

- **Grupo Chuacús**

Está compuesto por rocas metasedimentarias que incluyen esquistos, gneises, anfibolitas y mármoles. El grupo Chuacús fue formado por los sedimentos de rocas del devoniano o del paleozoico inferior derivadas de un cuerpo precámbrico. La paragénesis mineral y de distribución de tamaño de granos revela que las rocas fueron predominantemente lodos y grauvacas con accesorios de arenas, margas y limos.

El grupo Chuacús está compuesto también con unidades ricas en moscovita en la parte más sureña del área y se gradúa hacia el norte con

unidades de gneises. La intrusión granodiorita metamorfoseada y diques contiene la unidad meta ígnea en adición a las rocas metavolcánicas.

Las serpentinitas se hallan ampliamente distribuidas, ocupando la mayor parte de la superficie de rocas aflorantes. Litológicamente pueden diferenciarse pequeñas laminaciones de antigorita, acompañados de óxido de hierro y a veces de residuos minerales originales. La roca es compacta, pero bastante blanda, de color verde con tonos variados oscuros y claros en manchas irregulares.

En la mayoría de la región de ubicación del banco en estudio, la roca se encuentra cizallada y fracturada como resultado de la tectónica presente en el área, a excepción de algunos lugares cercanos los afloramientos presentan poco fracturamiento.

- Zona de Sutura del Motagua

Se refiere a la porción de terreno que se encuentra dentro de la zona de falla del Motagua y la zona de falla de Jocotán Chamelecón. Durante el Cretácico tardío y el Paleógeno ocurrió una convergencia tectónica en esta región que involucró la obducción de rocas ultramáficas y el desarrollo de metamorfismo de facies de esquistos verdes y de esquistos azules en rocas del Mesozoico Tardío.

Dentro de muchas porciones de la falla ocurren bloques levemente metamorfizados de rocas marinas y continentales del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico; varios cuerpos intrusivos emplazados al final del Cretácico y durante el Terciario, constituyen parte las rocas de la zona de sutura.

El basamento de la zona de sutura está constituido por dos secuencias de rocas metamórficas expuestas a lo largo del borde Sur del Valle del Motagua.

Una secuencia más antigua de rocas de alto grado es el Complejo Las Ovejas, está al Norte de una secuencia más joven llamada Filitas San Diego; está constituida principalmente de metasedimentos de bajo grado. También está limitada en el Norte por la zona de falla del Motagua y está estructuralmente debajo de rocas máficas metamorizadas del Grupo El Tambor del Cretácico.

La secuencia más joven está limitada hacia el Sur por la zona de falla de Jocotán y está en contacto de falla con la secuencia más antigua hacia el Norte; las diferencias estructurales y metamórficas indican que estas secuencias están separadas por una importante discontinuidad.

La litología dominante es la serpentinita, pero son abundantes las grauvacas, basaltos almohadillados y fragmentos de diques de diabasa que también son extensos, así como las peridotitas ligeramente serpentinizadas.

3.2. Marco geológico estructural

Al igual que otros cuadrángulos adyacentes tanto al este como al oeste, el cuadrángulo El Progreso yace en la parte norte de Centro América, subyacida por corteza fuertemente plegada y fallada pre- Mesozoica, conocida como Centro América Nuclear (CAN). Centro América Nuclear ha sido subdividida en dos bloques corticales principales, el Bloque Maya al norte y el Bloque Chortís al sur.

Separando ambos bloques Müller en 1979 reconoce otra unidad tectónica regional, la Zona de Sutura del Motagua (ZSM), la cual tiene un ancho variable entre 5 y 10 km, constituido de bloques ofiolíticos, depósitos sedimentarios y volcánicos, incluyendo grandes cuerpos ultramáficos serpentinizados ubicados en los flancos sur de la Sierra de Las Minas y Chuacús, limitado al sur por la Falla Cabañas. Uno de los rasgos más sobresalientes de la geología estructural del

cuadrángulo El Progreso es el extenso fallamiento, las unidades litológicas están relacionadas por fallas y en sí mismas se observa una inconsistencia en la continuidad de sus rasgos estructurales.

3.3. Geología del área de influencia del banco en estudio

El área en estudio se ubica en una zona controlada tectónicamente por fallamientos de gran magnitud, y provoca formas del terreno muy distintivas.

La provincia Sierra de las Minas presenta una topografía abrupta, dándose cambios de elevaciones muy fuertes en distancias muy cortas, dichas elevaciones que van desde 500 hasta 2 500 msnm, está compuesta principalmente por rocas metamórficas y ultra básicas.

La provincia Valle del Motagua es un área relativamente plana, con orientación este oeste, compuesta por material poco consolidado que ha sido transportado por el río Motagua y sus afluentes, presenta elevaciones inferiores a los 500 msnm.

Las Serranías del Sur presentan una serie de elevaciones que van desde 500 hasta 1 800 msnm, esta provincia geomorfológica tiene una gran variedad litológica, aflorando rocas sedimentarias clásticas y no clásticas, metamórficas foliadas y masivas, intrusivos y rocas volcánicas de composición básica, ácida e intermedia.

Cada uno de estos bloques tiene una historia geológica esencialmente diferente, por lo menos antes de la colisión, compartiendo actualmente diversos rasgos producto de su disposición a diferentes procesos, como el movimiento continuo a lo largo del Sistema de Falla Motagua y la subducción de la placa de

Cocos al sur. La configuración litológica estructural de cada bloque es diferente, el basamento, la historia deposicional, metamorfismo, fallamiento, entre otros.

3.4. Geología estructural del área de influencia del banco en estudio

El cuadrángulo en el cual se encuentra el área en estudio está constituido de tres unidades tectónicas: una unidad al norte que pertenece al Bloque Chortís, una unidad central angosta de proyección este-oeste conocida como Zona de Sutura Motagua y una unidad al sur perteneciente al Bloque Chortís.

El patrón estructural que sobresale en el cuadrángulo está relacionado a la Zona de Sutura del Motagua, y se manifiesta principalmente por fallamiento de tendencia este-oeste, y fracturas relacionadas en otros ángulos; fallamiento sinistral, plegamiento, juntas, basculamiento, actividad ígnea, son otros rasgos que se atribuyen a esta zona de sutura.

Entre las características más sobresalientes de la geología estructural del cuadrángulo de Morazán, El Progreso es el extenso fallamiento, las unidades litológicas están relacionadas por fallas y en sí mismas se observa una inconsistencia en la continuidad de sus rasgos estructurales, foliación, estratificación, entre otros.

En cuanto al tema de foliaciones se refiere, la tendencia e inclinación en los esquistos es muy variable, esto se debe principalmente al alto grado de fracturamiento de la unidad; sin embargo, en la unidad de filitas ésta es más consistente y aproximadamente paralela al fallamiento marginal norte de la Zona de Sutura del Motagua. La unidad de serpentinitas presenta localmente una pseudofoliación y esta tiene una orientación predominante, que es consistente con aquella que sobresale en los esquistos.

El fracturamiento de las diferentes unidades litológicas es el rasgo estructural más sobresaliente, y el grado para cada una depende de las características litológicas, modo de emplazamiento o deposición y edad.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Caracterización física

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

Tabla IV. **Límites granulométricos del agregado fino**

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

Continuación de la tabla IV.

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 potencia 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-1157, utilizando como agregado la arena procedente de la erupción del volcán de Pacaya en fecha 27 de mayo de 2010.* pp. 68-69.

4.1.1. Granulometría bajo la norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136)

El análisis por medio de tamices proporciona la base para tener el control de la graduación de los agregados y así poder verificar el cumplimiento de los requisitos especificados de granulometría.

En Guatemala el procedimiento estándar para realizar el ensayo se describe en la NTG 41010 h1. La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, diseño de mezcla y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas pobres o cuando los agregados gruesos que se usan son de pequeñas dimensiones, para lograr una buena trabajabilidad, es mejor, que la granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz.

Los límites granulométricos dados por la NTG 41010 h1 se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Límites granulométricos del agregado fino natural y manufacturado**

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

Fuente: COGUANOR. *NTG 41010 h1. Agregados para Concreto. Especificaciones.* p. 8.

Otros requisitos de la NTG 41010 h1 son:

- El agregado fino no debe contener más del 45 % de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.

El módulo de finura debe ser mayor que 2,3 y menor que 3,1 y no debe variar más de 0,20 respecto al valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se demuestre que las propiedades del agregado fino en consideración son relevantes.¹

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

¹ COGUANOR. *NTG 41010 h1. Agregados para Concreto. Especificaciones.* p. 9.

4.1.1.1. Maquinaria y equipo

Se utilizan herramientas como las balanzas, que deben tener una lectura y una exactitud legible a 0,1 g y exactitud de 0,1 g o 0,1 % de la masa de ensayo. Para agregado grueso, o mezcla de agregado grueso y fino, debe de ser legible y con una exactitud de 0,5 g o 0,1 % de la masa de ensayo.

Los tamices o mallas para utilizar deben estar montados en un marco sólido construido de manera que se impida la pérdida de material durante el tamizado, el cual se realiza en un agitador mecánico y debe producir un movimiento tal, que los tamices provoquen que las partículas reboten, caigan o giren de manera que presenten diferentes orientaciones a la superficie de tamizado.

Es necesario para el secado de las muestras un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).

4.1.1.2. Procedimiento

El módulo de finura es una cantidad proporcional al tamaño promedio de las partículas del agregado fino o grueso; es decir, mientras más grueso sea el agregado, mayor será su módulo de finura.

Se calcula sumando los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiendo esta suma dentro de 100. La serie especificada para determinar el módulo de finura es: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No.

8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8 pulg.), 19,0 mm (¾ pulg.), 37,5 mm (1 ½ pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.).

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

Se debe secar la muestra de ensayo a masa constante con una temperatura en horno de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, evitando temperaturas altas y presiones suficientes para fracturar las partículas y causar el rompimiento químico del agregado. Teniendo el material seco se deben seleccionar los tamices con las aberturas adecuadas para obtener la información requerida por las especificaciones que cubren el material que va a ser ensayado.

Para el proceso del tamizado se deben acomodar los tamices en orden de tamaño de abertura decreciente, de arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Se debe agitar los tamices manualmente o por medio de un agitador mecánico por un período de tiempo necesario establecido por tanteo o comprobado por mediciones sobre la muestra de ensayo.

Se debe limitar la cantidad de material retenida en un tamiz dado, de manera que todas las partículas tengan la oportunidad de ponerse en contacto, con las aberturas del tamiz un cierto número de veces durante la operación de tamizado. Se debe evitar la sobrecarga de material sobre un tamiz individual.

4.1.1.3. Cálculos y resultados

Se calculan los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales o los porcentajes de las varias fracciones por tamaño, al 0.1 % más cercano sobre la base de la masa inicial seca total de la muestra de ensayo.

Para los resultados se debe sumar los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiendo esta suma dentro de 100. La serie especificada para determinar el módulo de finura es: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8 pulg.), 19,0 mm (3/4 pulg.), 37,5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.), 150 mm (6 pulg.) y mayores los cuales tienen un incremento a razón de 2 a 1.

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

El módulo de finura es una cantidad proporcional al tamaño promedio de las partículas del agregado fino o grueso; es decir, mientras más grueso sea el agregado, mayor será su módulo de finura.

Tabla VI. **Granulometría del agregado grueso**

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
2"	100,00
1 1/2"	99,00
1"	87,00
3/4"	57,00
1/2"	22,00
3/8"	11,00
No. 4	1,00
No. 8	0,00
No. 16	0,00

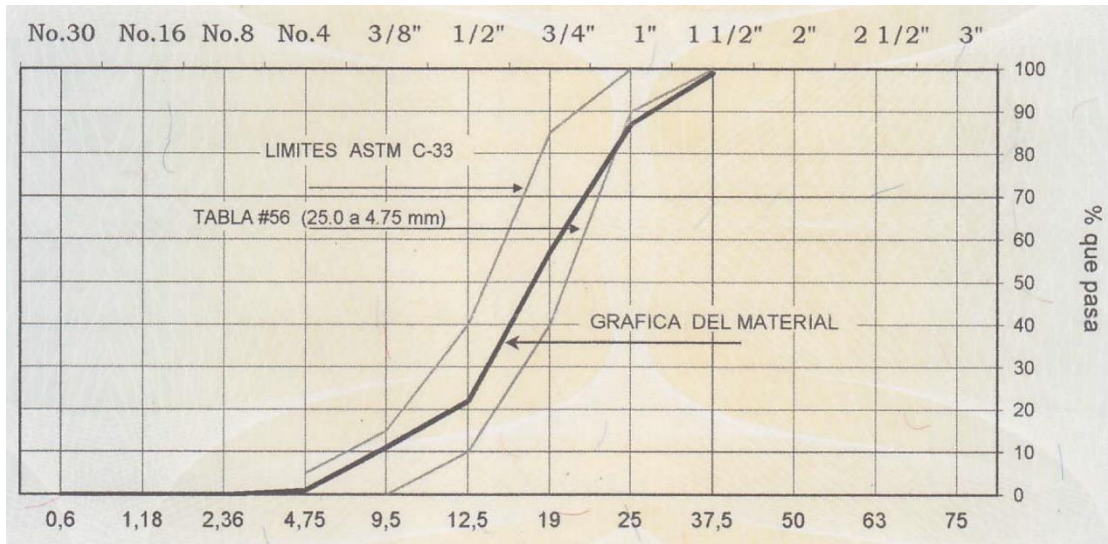
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

Tabla VII. **Características físicas del agregado grueso**

Densidad Relativa (sss)	2,58
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 570,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1 540,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1 350,00
Porcentaje de Absorción (en porcentaje)	2,30
Pasa Tamiz #200	0,40
Porcentaje de Vacíos, Compactado (en porcentaje)	40,00
Porcentaje de Vacíos, Suelto (en porcentaje)	48,00
Módulo de Finura	7,32
Pasa Tamiz 6,35 (en porcentaje)	3,30

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

Figura 6. **Grafica de resultados del agregado grueso**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC. *Gráfica de resultados del agregado grueso. p. 1.*

Tabla VIII. **Granulometría del agregado fino para el punto 1**

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
9,50	100,00
4,75	91,50
2,36	66,70
1,18	41,60
0,60	27,50
0,30	20,10
0,15	16,20

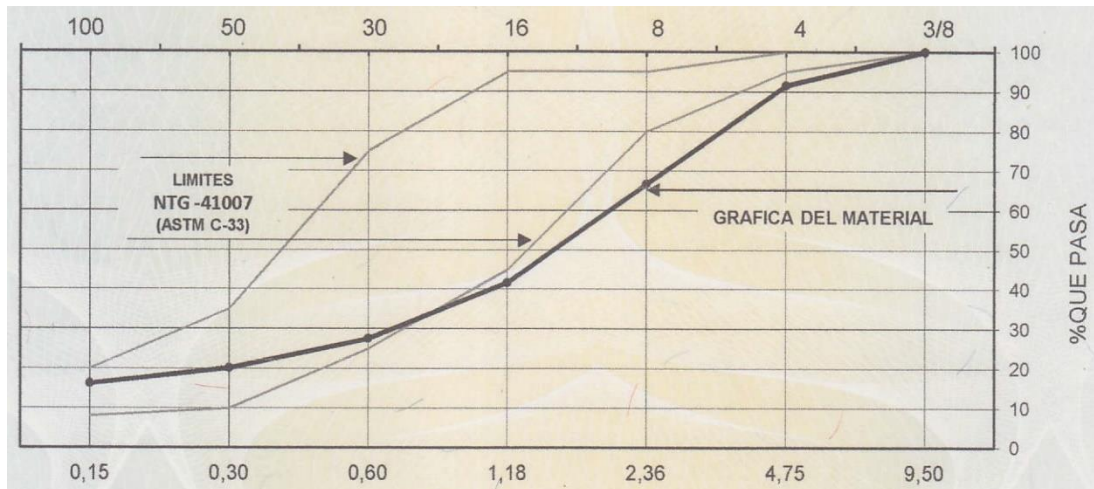
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

Tabla IX. **Características físicas del agregado grueso**

Densidad Relativa (sss)	2,73
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 720,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1 710,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1 420,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (en porcentaje)	37,00
Porcentaje de Vacíos, Suelto (en porcentaje)	48,00
Porcentaje de Absorción (en porcentaje)	0,90
Contenido de materia orgánica	1,00
Pasa Tamiz #200 (en porcentaje)	16,20
Retenido Tamiz 6,35 (en porcentaje)	0,40
Módulo de Finura	3,36

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

Figura 7. **Gráfica de resultados del agregado fino**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC. *Gráfica de resultados del agregado fino. p. 1.*

4.2. Caracterización química

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

4.2.1. Resultados del ensayo de la reactividad potencial del agregado fino según la Norma NTG 41010 h13

Para considerar los parámetros de la Norma COGUANOR NTG 41010 h13, se toma en cuenta que se consideraran satisfactorios los resultados si los valores de Reducción Alcalina y Sílice Disuelta (en mmol/L) difieren por más de los siguientes valores: (1) Cuando el resultado es de 100 mmol o menos, en 12 mmol/L y (2) el resultado es mayor de 100 mmol/L, en 12 %.

El ensayo de reactividad potencial se le aplico a la muestra, dando como resultado que el agregado fino contiene ciertas propiedades químicas, que lo hacen un material deletéreo.

Tabla X. **Determinación de la reactividad potencial del agregado fino según la norma NTG 41010 h13**

IDENTIFICACIÓN DEL INTERESADO.	REDUCCIÓN ALCALINA RC (MMOL/L)	SÍLICE DISUELTA SC (MMOL/L)	RESULTADO
Agregado fino	663,3 ± 3,46	545,0 ± 31,69	Agregado considerado potencialmente deletéreo

Fuente: USAC, Centro de investigaciones de Ingeniería. *Informe de la reactividad potencial del agregado fino.* p. s/n.

Comparando los resultados obtenidos del ensayo con los parámetros de la norma, se nota que cumple con una de las especificaciones indicadas, porque el promedio es mayor de 100 mmol/L, en 12 %, sin embargo, no cumple con las demás especificaciones. Esto indica que el material no es satisfactorio para ser usado en el concreto.

La Norma COGUANOR NTG 41010 h13, indica que es necesario efectuar un segundo análisis. En este caso se realizó el ensayo con la Norma COGUANOR NTG 41010 h14 (ASTM C-1260), método de ensayo determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero. Dicha norma dice que las expansiones menores que 0,10 % a los 16 días después del moldeo de los especímenes, son indicativas de un comportamiento inocuo en la mayoría de los casos.

A continuación, se muestran los porcentajes de expansión de las barras elaboradas, se realizaron 4 barras como lo indica la norma:

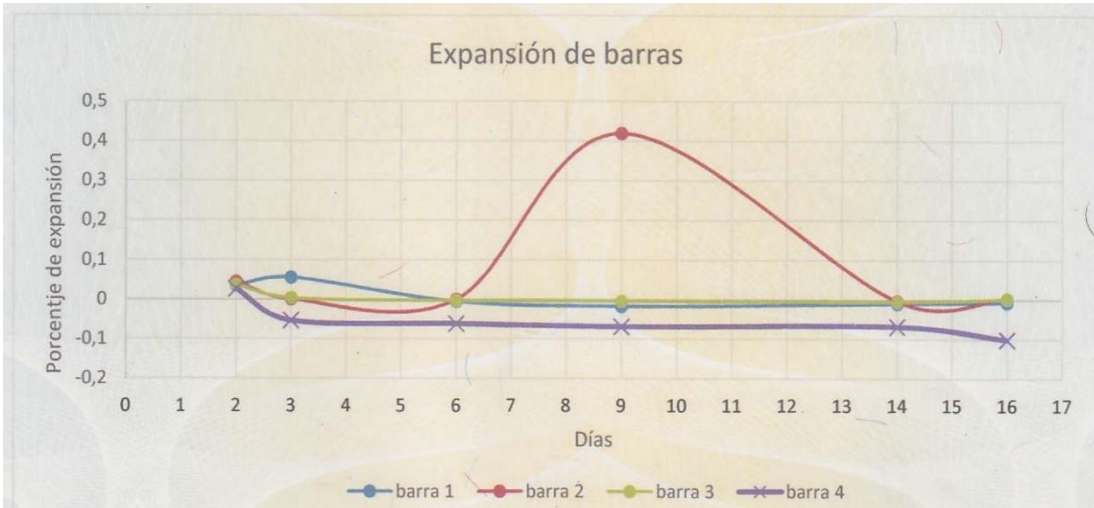
Tabla XI. **Porcentajes de expansión, y expansión promedio de barra ensayada según normativa NTG 41010 h 14**

# DE PUNTO	# DE BARRA	PORCENTAJE EN EXPANSIÓN DE CADA BARRA	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN PROMEDIO
Punto 1	Barra 1	-0,0064	-0,0258
	Barra 2	0,0024	
	Barra 3	0,0016	
	Barra 4	-0,1008	

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

La norma indica que la expansión menos a 0,10 % es aceptable, quiere decir que el molde de los especímenes incluye agregados inocuos.

Figura 8. **Gráfico de expansión de barras**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC. *Gráfico de expansión de barras*. p. 1.

Tal como lo indica la tabla X, el agregado considerado potencialmente deletéreo, por consiguiente, se debe realizar el ensayo de reactividad potencial bajo la norma COGUANOR NTG 41010 h13 (ASTM C-289).

4.2.2. Reactividad potencial de los agregados, NTG 41010 h13 (ASTM C-289)

Este método cubre la determinación química de la reactividad potencial de un agregado con los álcalis del concreto con base de cemento Portland.

Con relación a la cantidad de reacción que se da durante 24 horas a 80 °C, en una solución 1 N de hidróxido de sodio y un agregado que ha sido triturado y tamizado, de manera que pase por la malla de 300 μm (No. 50), y quede retenido en la malla de 150 μm (No. 100).

Este método puede ser utilizado como parámetro de control de calidad para comprobar regularmente las muestras de una fuente de agregados que tenga un historial de servicios aceptable. Dependiendo del resultado que se obtengan en este ensayo, se recomienda realizar el ensayo de la barra de mortero.

Lo que la norma COGUANOR NTG 41010 h15 (Método acelerado de barra de mortero), pretende es detectar dentro del rango de 16 días, la relación potencial perjudicial álcali-sílice de la combinación de los materiales cementantes y agregados pétreos en las barras de mortero.

Este método de ensayo proporciona un medio para evaluar la habilidad de las puzolanas y la de escoria de alto horno, para controlar la expansión interna perjudicial debido a la reacción álcali-sílice cuando se usan con un agregado que se pretende usar en el concreto.

4.2.2.1. Selección y preparación de la muestra

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

La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado, triturándolo hasta que pase el tamiz de 300 μm (No. 50), de acuerdo con el siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150 μm , descartar el material que pase por el tamiz de 150 μm , reducir el material retenido en el tamiz

de 300 μm y pasándolo repetidamente por el disco pulverizador, tamizando después de cada pulverizado.

El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de 300 μm . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasa el tamiz No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

4.2.2.2. Procedimiento

Se debe pesar tres porciones representativas de $25 \pm 0,05$ g de la muestra seca, comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100.; luego se debe colocar cada porción en uno de los tres recipientes y por medio de una pipeta agregar 25 cm^3 de hidróxido de sodio (NaOH).

En un cuarto recipiente, con una pipeta agregar 25 cm^3 de la misma solución (NaOH) para utilizarla como solución blanca. Luego agitar suavemente los envases para liberar el aire atrapado y sellarlos. Inmediatamente después de sellar los envases, colocarlos en un baño que se mantiene a una temperatura constante de 80 ± 1 °C.

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

Una vez se ha completado la filtración, agitar el filtrado para proporcionar homogeneidad y luego, con una pipeta se toma una alícuota de 10 cm^3 del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm^3 en un frasco volumétrico.

Conservar esta solución diluida para determinar la sílice disuelta y la reducción de alcalinidad, de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por la norma.

4.3. Caracterización petrográfica

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

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

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

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

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

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

Los agregados comprenden cerca de tres cuartas partes del volumen de una mezcla de concreto, de manera que su mineralogía, tamaño máximo, radiación, forma y textura superficial tienen influencia sobre las propiedades del concreto. Por lo que se debe concentrar la atención durante la descripción de los agregados, en aquellos que tienen un efecto potencial en las propiedades del concreto.

Se debe identificar los constituyentes indeseables o potencialmente nocivos, incluyendo intraclastos de arcilla, mica libre, yeso, pirita y materiales reactivos a los álcalis.

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

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

4.3.1. Usos de los análisis petrográficos

Los exámenes petrográficos tienen como objetivo determinar las características físicas y químicas del material que será observado y determinar el comportamiento del material para el uso que será destinado.

Permiten también describir y clasificar los componentes que tiene la muestra, esto para comparar muestras de agregados de nuevos bancos con las muestras de agregados de uno o más bancos y que los datos estén disponibles en archivos. También sirven para determinar si es o no compatible con el cemento, de acuerdo con sus componentes

4.3.2. Selección de las muestras para el examen

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

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa no debe tomarse por menos de 45 kilogramos (100 libras), o bien 300 piezas o segmentos de cualquier tamaño, de cualquier material a examinar.

Debe efectuarse una selección de los apilamientos existentes y de esta forma tomar las muestras más representativas y con las características del agregado más grande.

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

Tabla XII. **Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico**

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

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

** Agregado fino

Fuente: American Society for Testing and Materials, ASTM. *Libro anual de Normas ASTM Vol. 04.02.* p. 59.

4.3.3. Examen de la grava natural

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

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

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

Este examen es igual para la roca triturada, haciendo énfasis en la calidad del agregado de fractura. Para la roca anaquel o expuesta el procedimiento del estudio en forma individual, es deseable que se examine la muestra completa, ya que se determina de esta forma la variedad relativa de las partículas presentes en la muestra.

4.3.4. Cálculos y resultados

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

El reporte del examen petrográfico debe contener:

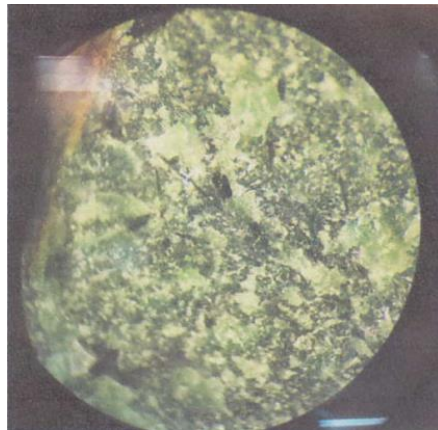
- Datos de identificación de la muestra
- Utilidad
- Descripción proporcionando la composición y propiedades del material

Cuando en una muestra se han encontrado propiedades o componentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, estos deben describirse cualitativamente. Se deben mencionar los efectos desfavorables que se espera que ocurran cuantitativamente, e incluir recomendaciones considerando exámenes petrográficos adicionales, ensayos químicos o físicos, o investigaciones geológicas que sean necesarias para evaluar las propiedades dañinas que fueron indicadas en el examen petrográfico.

4.3.4.1. Resultados de la norma COGUANOR NTG 41088, propiedades químicas y mineralógicas

El análisis petrográfico se realizó por medio de un microscopio estereoscópico en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 9. **Representación microscópica de la composición de la serpentinita**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM. *Estudio de caracterización mineralógico*. p. s/n.

Tabla XIII. **Resultados del examen petrográfico**

No.	Datos	Resultados
1	Nombre	Serpentinita
2	Textura	Masiva
3	Estructura	Compacta
4	Color	Verde oscuro
5	Brillo	No metálico
6	Composición	Son rocas metamórficas de bajo grado a medio, notables principalmente por la presencia de alteraciones, son productos de alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfiboles.
7	Utilidad practica	En grandes cantidades puede ser utilizado como material de ornamentación, puede ser cortado y pulido.
8	Observaciones	Algunas variedades, su exposición prolongada, puede causar daños en la salud.

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM. *Estudio de Caracterización Mineralógico*. p. s/n.

4.4. **Caracterización mecánica**

Los agregados tienen diversas propiedades mecánicas, una de ellas es la resistencia a la abrasión, esta es muy importante porque indica la calidad del agregado.

Para determinar la resistencia al desgaste o resistencia a la abrasión, es necesario usar la Norma COGUANOR NTG 41010 h 20.

4.4.1. **Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, Norma COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C- 131)**

La resistencia al desgaste y al rayado de un agregado a menudo se emplea como un índice general de su calidad. Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de los Ángeles, de acuerdo con la Norma COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C-131), consiste

en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo especificado en la norma anterior, luego se determina el porcentaje de desgaste sufrido.

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

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

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

4.4.1.1. Maquinaria y equipo

Se usa la máquina de los Ángeles que satisfaga las características descritas por la Norma COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C-131). La máquina consistirá en un cilindro hueco cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 28 pulgadas y el largo interior de 20 pulgadas.

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

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

Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46,8 mm y cada esfera tendrá un peso aproximado de 390 a 445 gramos.

4.4.1.2. Procedimiento

Se tomó una cantidad representativa del material y se tamizó, según los porcentajes que han sido retenidos en cada tamiz, se clasificó el tipo de graduación como "A", según la norma NTG 41010 h20.

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

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

Tipo	Tamices	Peso Retenido (gr)	No. de esferas	Rev	Tiempo (min)
A	1", 3/4", 1/2", 3/8"	1250 (+/-)	12	500	17
B	1/2" y 3/8"	2500 (+/-)	11	500	17
C	1/4" y No. 4	2500 (+/-)	10	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

Fuente: elaboración propia, con base en datos obtenidos a partir de la Norma Guatemalteca NTG 41010 h20.

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

4.4.1.3. Cálculos y resultados

La siguiente tabla obtenida de resultados de laboratorio, muestra el porcentaje de abrasión del material en estudio.

Tabla XV. **Resultado de ensayo de abrasión con máquina de los Ángeles**

	REFERENCIAS	MUESTRAS
1.	Graduación	A
2.	Porcentaje de desgaste	11 %

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados obtenidos de Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en las figuras 6 y 7 que corresponden a las gráficas de granulometría se puede determinar que el material no está bien granulado, por consiguiente, no cumple físicamente.

Los ensayos petrográficos en el inciso 4.3. y tomando como base la Norma COGUANOR NTG 41010 h13 demostraron que el material es deletéreo, esto quiere decir que no es apto para la elaboración de concreto, debido a su alta cantidad de alcalinos y sílices (Ver resultado de la tabla VIII). Para comprobar lo antes mencionado también se realizó el ensayo de la Norma COGUANOR NTG 41010 h14 método de la barra de mortero, dando como resultado la inestabilidad del material al momento de ser ensayado, se puede apreciar en la figura 8.

Por último, se realizó un ensayo de caracterización mecánica del agregado por medio de la Norma COGUANOR NTG 41010 h 20 empleando la máquina de los Ángeles, el resultado en este ensayo fue satisfactorio y el porcentaje de abrasión fue de 11 %, satisfaciendo los parámetros de aceptación que la norma solicita.

En conclusión, se pudo determinar que el material no es apto para la construcción, solo puede ser usado como un material ornamental o decorativo. Por su alto contenido de alcalinos y sílices no es recomendable tener demasiado contacto porque en grandes cantidades es dañino y perjudicial para la salud, así como la mezcla con cementos.

CONCLUSIONES

1. Se estableció la caracterización física, química, mecánica y petrográfica del banco de agregado de serpentinita, extrayendo las muestras necesarias para determinar las características y propiedades del material, con estas se determinó las propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas.
2. Los agregados pétreos extraídos fueron evaluados bajo las normas NTG, las cuales a través de sus ensayos indicaron las características físicas y las propiedades mecánicas de la serpentinita. Con base en las especificaciones indicadas en las normas se determina que el material cumple con algunas características, sin embargo, químicamente no es apto para su uso en la construcción por ser un material reactivo.
3. Se determinó de acuerdo con el ensayo petrográfico que es una roca metamórfica de bajo grado a medio, siendo un material de alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfíboles. Con el análisis de los resultados de la reactividad álcali-agregado por el método de la barra de mortero, se determinó que el porcentaje de expansión del agregado fino es inestable, por consiguiente, es perjudicial para el concreto, según los parámetros establecidos en la norma NTG 41010 h13.

RECOMENDACIONES

1. Conocer la procedencia y características de los agregados pétreos antes de ser solicitados en las empresas de construcción. Esto debido a que los agregados pueden perjudicar el concreto y es de suma importancia realizar análisis de calidad correspondientes previamente.
2. Considerar las características físicas y propiedades mecánicas de los agregados, más si serán de uso en la construcción. Teniendo presente también las características químicas de estos, para que no perjudiquen en la resistencia y durabilidad de las mezclas de concreto. Debido a que dichos daños se generan internamente y a largo plazo.
3. Identificar puntos de venta de materiales de construcción que estén bajo los parámetros de las normas necesarias, con el fin de mejorar el control de calidad en las obras civiles y también en la fabricación y calidad de materiales.

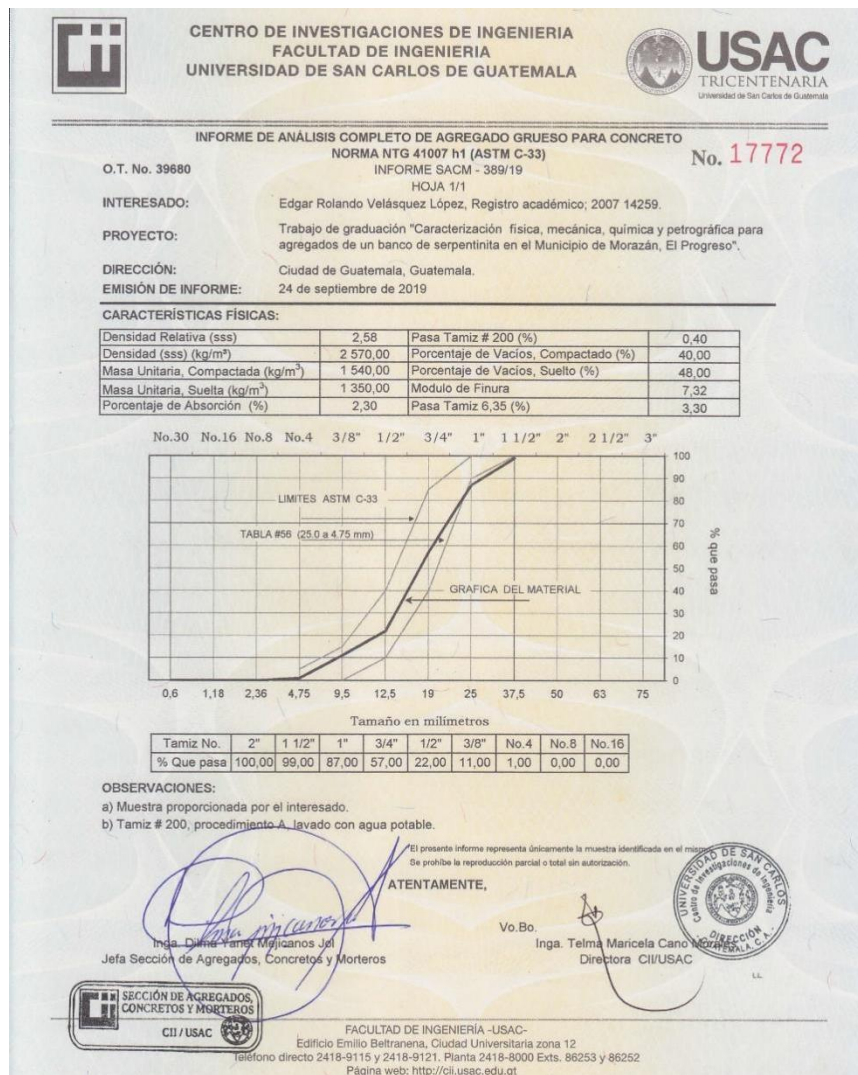
BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM. C-131. *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Ángeles*, West Conshohocken: American Standar Testing Materials, 2001. 5 p.
2. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. *Granulometría agregado fino*. Guatemala: CII, USAC, 2021. s/p.
3. _____. *Granulometría agregado grueso*. Guatemala: CII, USAC, 2021. s/p.
4. _____. *Informe de la reactividad potencial del agregado fino*. Guatemala: CII, USAC, 2021. s/p.
5. _____. *Porcentaje de desgaste en cada muestra*. Guatemala: CII, USAC, 2021. s/p.
6. COGUANOR. NTG-41009. *Práctica para el muestreo de los agregados para concreto*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2010. 11 p.
7. _____. NTG-41010 h13 *Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método químico*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2012. 18 p.

8. _____ . *NTG-41010 h14 Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2012. 15 p.
9. _____ . *NTG-41010 h20. Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2014. 12 p.
10. _____ . *NTG-41010 h20. Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2014. 12 p.
11. _____ . *NTG-41088. Guía para la evaluación petrográfica de los agregados para el concreto.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 26 p.
12. _____ . *NTG-41007. Agregados para concreto. Especificaciones.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2013. 24 p.
13. _____ . *NTG-41007. Agregados para el concreto, Especificaciones.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2010. 24 p.

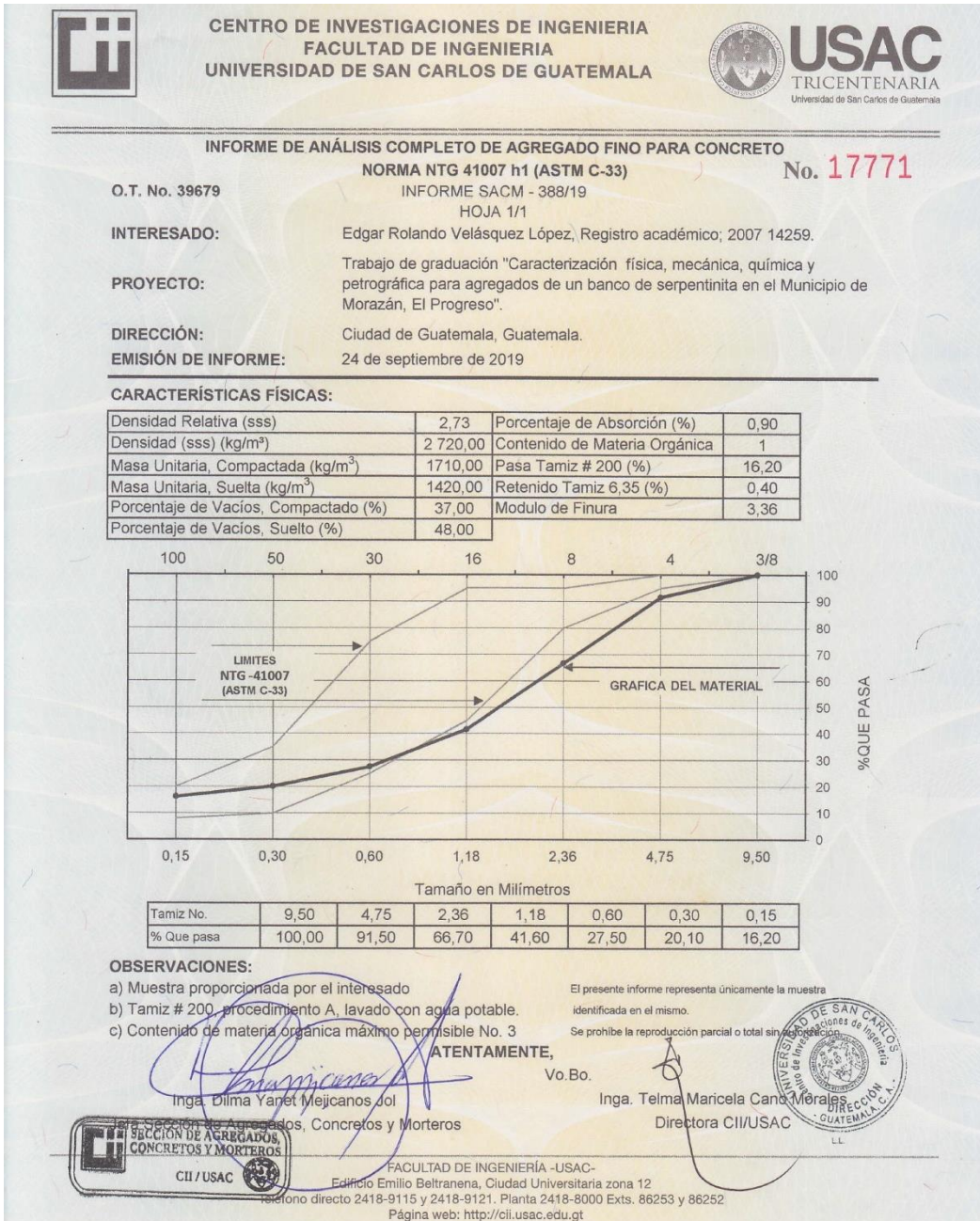
ANEXOS

Anexo 1. Informe de análisis completo de agregado grueso para concreto Norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33)




Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. *Análisis completo de agregado grueso para concreto, norma NTG 41007 (ASTM C-33)*. p. 1.

Anexo 2. **Informe de análisis completo de agregado fino para concreto**
Norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33)




Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. *Análisis completo de agregado fino para concreto, norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33).* p. 1.

Anexo 3. **Ensayo de reactividad álcali-agregado, método de la barra de mortero Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)**



**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)

No. 17774

O.T. No. 39955

INFORME SACM - 391/19
HOJA 1/1

INTERESADO: Edgar Rolando Velásquez López, Registro académico; 2007 14259.


PROYECTO: Trabajo de graduación "Caracterización física, mecánica, química y petrográfica para agregados de un banco de serpentinita en el Municipio de Morazán, El Progreso".

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala, Guatemala.

EMISIÓN DE INFORME: 24 de septiembre de 2019

		Edad			
		BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	BARRA 4
ELABORACION	3/09/2019	7,3160	8,0260	9,1000	4,9880
LECT. INICIAL	4/09/2019 1	7,4040	8,1380	9,1940	5,0560
LECT. CERO	5/09/2019 2	7,3880	8,1440	9,1980	4,8040
LECT. FINAL	19/09/2019 16	-0,0064	0,0024	0,0016	-0,1008
% EXPANSION DE CADA BARRA					
% EXPANSION PROMEDIO		-0,0258			

Expansión de barras

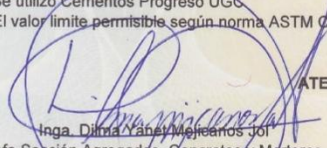


OBSERVACIONES:

- 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 UGC.
- El valor límite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.

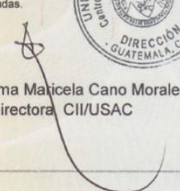
El presente informe únicamente para las muestras identificadas.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

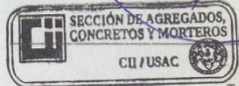


Inga Dilma Yáñez Mejicanos JCI
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros


Vo.Bo.



Inga. Telma Maticela Cano Morales
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltrana, 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, USAC. *Informe de ensayo de reactividad álcali-agregado método de la barra de mortero norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)*. p. 1.

Anexo 4. **Ensayo de abrasión por máquina de los Ángeles Norma NTG 41010 h 20 (ASTM C-131)**



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



INFORME DE ENSAYO DE ABRASIÓN POR MÁQUINA DE LOS ÁNGELES No. **17773**

NORMA NTG 41010 h 20 (ASTM C-131)

INFORME SACM - 390/19
HOJA 1/1

O.T. No. 39681

INTERESADO:

PROYECTO:

DIRECCIÓN:

EMISIÓN DE INFORME:

Edgar Rolando Velásquez López, Registro académico; 2007 14259.

Trabajo de graduación "Caracterización física, mecánica, química y petrográfica para agregados de un banco de serpentinita en el Municipio de Morazán, El Progreso".

Ciudad de Guatemala, Guatemala.

24 de septiembre de 2019

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Graduación	" A "
2. Porcentaje de desgaste	11,00%

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) La resistencia a la abrasión del agregado grueso para concreto, debe tener un porcentaje de desgaste máximo admisible de 50%, según norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).
- c) El porcentaje de desgaste por abrasión, no debe ser mayor de 35 %, según Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, de la Dirección General de Caminos, sección 404, inciso 404.03

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

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yaneh Mejicanos Jof
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano
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, USAC. *Informe de ensayo de abrasión por máquina de los Ángeles, norma NTG 41010 h20 (ASTM C-131).* p. 1.

Anexo 5. Caracterización Mineralógico - Macroscópico

Guatemala, 07 de Noviembre 2019

Sr. Edgar Rolando Velásquez López
Tel. 4108 5255
Ciudad de Guatemala.
Presente.



Por este medio me es grato saludarle y desearle éxitos en las actividades que realiza. Al mismo tiempo me permito presentarle el resultado del estudio de Caracterización Mineralógico – Macroscópico de las muestras de roca, (1) recibidas 9 de Octubre 2019, con ubicaciones según reporta el interesado: Morazán, El Progreso, Guatemala. Las muestras fueron debidamente examinadas, se describen a continuación las generalidades de las mismas.

Muestra 030

Nombre:	Roca
Textura:	Serpentina masiva
Estructura:	Compacta
Color:	verde oscuro
Brillo:	No metálico
Composición:	Son rocas metamórficas de bajo grado a medio, notables principalmente por la presencia de alteraciones, son productos de alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfíboles.
Utilidad práctica:	En grandes cantidades puede ser utilizado como material de ornamentación, puede ser cortado y pulido.
Observaciones:	Algunas variedades, su exposición prolongada, puede causar daños en la salud.




Sin otro particular, me suscribo.
Respetuosamente,

"Id y enseñad a todos"


Ing. Carla Gordillo de Marchena
Geólogo – Minero
Profesora – Investigadora



Anexo 6. **Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07**



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



O.T. No. 39683
Informe QUINDLAFIQ
RG-358-019-19

Interesado: Edgar Rolando Velásquez
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Caracterización física, mecánica, química y petrográfica para agregados de un Banco de Serpentina"
 Muestra: 1 muestra de agregado fino
 Fecha recepción: 08 de mayo de 2019
 Fecha de Informe: 28 de mayo de 2019

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07

Muestra de Arena


IDENTIFICACIÓN LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DEL INTERESADO	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Sílice Disuelta SC (mmol/L)	RESULTADO
RG-360-023-19-F	Agregado fino	663,3 ± 3,46	545,0 ± 31,69	Potencialmente deletéreo

Muestra proporcionada por el interesado



Grafica Adjunta.
Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-277 y/o ASTM C-1260
 Sin otro particular,

Atentamente,

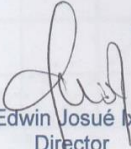

MSc. Licda Ingrid Lorena Pacheco
 Coordinadora LAFIQ

Ing. Cesar Alfonso García Guerra
 Jefe de Sección Química Industrial-CH

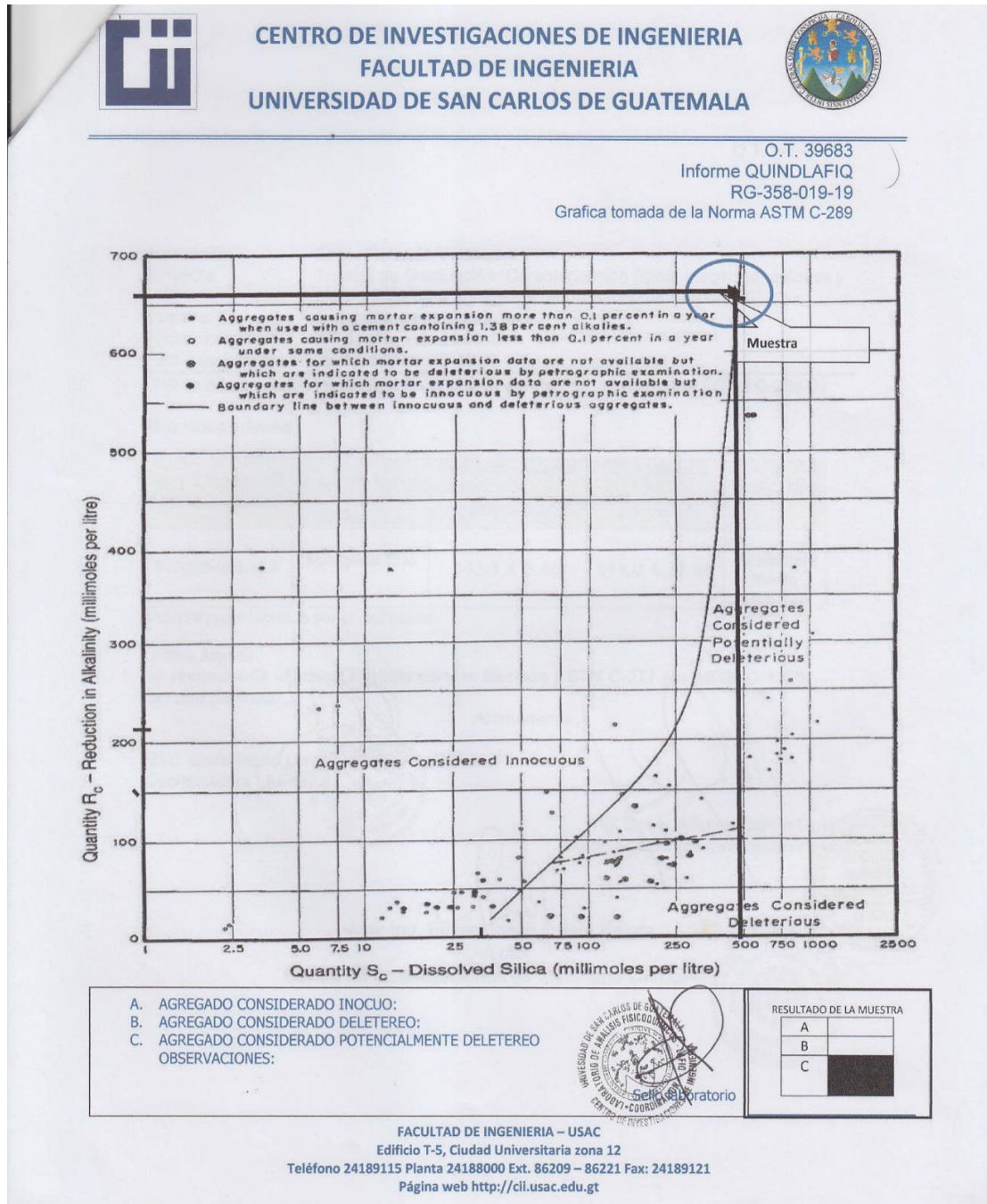



Visa: Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes
 Director

FACULTAD DE INGENIERIA – USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono 24189115 Planta 24188000 Ext. 86209 – 86221 Fax: 24189121
 Página web <http://cii.usac.edu.gt>

Continuación del anexo 6.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. *Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07.* p. 1-2.

