

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN  
DEL NUEVO PUEBLO "LOS ESCLAVOS", KILÓMETRO 66+400 CARRETERA  
CA-01 ORIENTE, MUNICIPIO DE CUILAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**INGA. LISZA MARÍA ACEVEDO CASTAÑEDA**

ASESORADO POR EL MSc. ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

GUATEMALA, DICIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Aguilar Tumax
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN  
DEL NUEVO PUENTE "LOS ESCLAVOS", KILÓMETRO 66+400 CARRETERA  
CA-01 ORIENTE, MUNICIPIO DE CUILAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de junio de 2013.

  
**Inga. Lisza María Acevedo Castañeda**



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

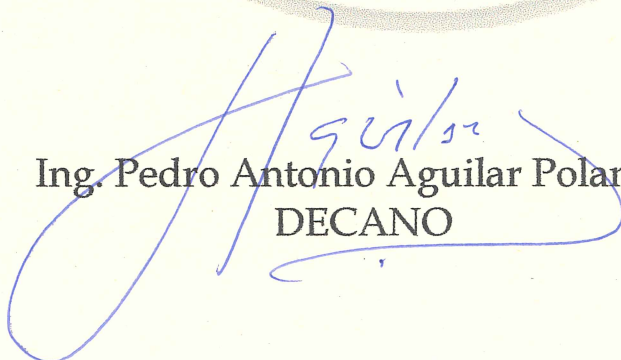
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-078

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica titulado: **"CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE "LOS ESCLAVOS", KILÓMETRO 66+400 CARRETERA CA-01 ORIENTE, MUNICIPIO DE CUILAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA "** presentado por la Ingeniera Civil Lisza María Acevedo Castañeda, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO

Guatemala, diciembre de 2016.

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.






FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-078

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Tesis titulado **"CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE "LOS ESCLAVOS", KILÓMETRO 66+400 CARRETERA CA-01 ORIENTE, MUNICIPIO DE CUILAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"** presentado por la Ingeniera Civil Lisza María Acevedo Castañeda, correspondiente al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica; apruebo y autorizo el mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, diciembre de 2016

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.





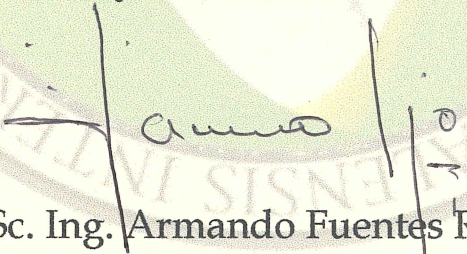
FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-079

Como Coordinadora de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica del Trabajo de Tesis titulado **"CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE "LOS ESCLAVOS", KILÓMETRO 66+400 CARRETERA CA-01 ORIENTE, MUNICIPIO DE CUILAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"** presentado por la Ingeniera Civil Liza María Acevedo Castañeda, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MSc. Ing. Armando Fuentes Roca  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, diciembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría, acompañarme, regalarme sus bendiciones y no abandonarme nunca.
<b>Mis padres</b>	Enrique Acevedo y Yanet Castañeda, por haberme guiado por el buen camino, darme la oportunidad de lograr todos mis sueños, ser ejemplo de que con dedicación y esfuerzo, todo es posible.
<b>Mis hermanos</b>	Luis Enrique y Anna Lucía, por apoyarme y animarme a seguir adelante.
<b>Mis abuelos</b>	Con mucho cariño y respeto, en especial, a mi abuela Aracely Rojas viuda de Castañeda, por sus sabios consejos.
<b>Mis tíos</b>	Julio Ademar Castañeda y Karla Indira Barrios, Marvin René Castañeda y Saraí Gramajo, María Antonieta Castañeda y Víctor Stuardo Díaz, Karin Aracely Castañeda, por su apoyo y consejo.
<b>Mis primos</b>	Por su amistad.
<b>Mi novio</b>	Hugo Estuardo Gálvez Villanueva, por estar siempre a mi lado, por su cariño y amistad.
<b>Ing. Julio Luna</b>	Por su amistad y gran apoyo y consejo durante todo el desarrollo del presente trabajo.

**Ing. Jorge Romero**      Por su amistad y compartir sus conocimientos al presente trabajo.

**Ing. Murphy Paiz**      Por su amistad y apoyo.

**Ing. Armando Fuentes**      Por su amistad y apoyo.

**Ing. Francisco Torres**      Por su apoyo en la realización del presente trabajo.

**Tecnología y Normas,  
Sociedad Anónima**      Por su colaboración y apoyo.

**Dirección General de  
Caminos**      Por su colaboración y apoyo.

**Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de  
Ingeniería**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
HIPÓTESIS .....	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES (MARCO TEÓRICO) .....	1
1.1. El suelo y su origen .....	1
1.1.1. Principales tipos de suelos .....	2
1.1.1.1. Suelos granulares .....	3
1.1.1.1.1. Gravas .....	3
1.1.1.1.2. Arenas .....	3
1.1.1.2. Suelos cohesivos .....	3
1.1.1.2.1. Limos .....	3
1.1.1.2.2. Arcillas .....	4
1.2. Definición de roca .....	4
1.2.1. Clasificación de las rocas según su origen .....	5
1.2.1.1. Rocas metamórficas .....	5
1.2.1.2. Rocas sedimentarias .....	6
1.2.1.3. Rocas ígneas .....	7



1.3.	Mecánica de rocas .....	7
1.3.1.	<i>Rock Quality Design (RQD)</i> .....	8
1.3.2.	<i>Rock Mass Rating (RMR)</i> .....	9
1.3.3.	Método “Q” de Barton.....	11
2.	CIMENTACIONES (MARCO TEÓRICO) .....	13
2.1.	Tipos de cimentaciones.....	13
2.1.1.	Cimentaciones superficiales .....	13
2.1.1.1.	Zapatas .....	14
2.1.1.2.	Viga de cimentación o zapata corrida ..	14
2.1.1.3.	Losa de cimentación .....	15
2.1.2.	Cimentaciones profundas .....	15
2.1.3.	Pilotes .....	16
3.	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE “LOS ESCLAVOS” .....	19
3.1.	Localización del área de estudio .....	19
3.2.	Caracterización física de la roca en el sitio.....	21
3.2.1.	Ensayos de laboratorio.....	22
3.2.1.1.	Perforaciones .....	22
3.2.1.1.1.	Ensayo de penetración estándar (SPT) .....	22
3.2.1.1.2.	Perforación con máquina rotativa.....	23
3.2.2.	Características de los macizos rocosos.....	27
3.3.	Caracterización geológica de la roca.....	36
4.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
4.1.	Resultados de laboratorio .....	41

4.1.1.	Perforación con máquina rotativa.....	41
4.2.	Propuesta de cimentación .....	48
CONCLUSIONES.....		53
RECOMENDACIONES.....		55
BIBLIOGRAFÍA.....		57
APÉNDICES.....		59
ANEXOS .....		63



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fórmula del índice de calidad de la roca (RQD) .....	8
2.	Tipos de pilotes según su capacidad de carga .....	18
3.	Localización del área de estudio .....	20
4.	Mapa geológico de Cuilapa, escala 1:50,000 .....	21
5.	Máquina rotativa.....	24
6.	Muestra colocada en caja para traslado a laboratorio .....	25
7.	Macizo rocoso en estribo de entrada del puente .....	25
8.	Muestra del núcleo recuperado en estribo de salida del puente .....	26
9.	Subestructura del puente existente .....	26
10.	Medición de rumbo del macizo rocoso .....	27
11.	Medición de buzamiento del macizo rocoso .....	28
12.	Mediciones <i>in situ</i> del macizo rocoso .....	28
13.	Estado actual del macizo rocoso en área de estudio.....	29
14.	Bloques métricos caídos al pie del talud del macizo rocoso .....	30
15.	Bosquejo de bloques del macizo rocoso .....	31
16.	Línea de crecida del río Los Esclavos .....	31
17.	Roseta de rumbos .....	32
18.	Estereogramas del macizo rocoso .....	33
19.	Roca vista en el microscopio estereoscópico del CESEM.....	37
20.	Acercamiento de roca en el microscopio estereoscópico del.....	38
21.	Fragmento de roca visto en examen macroscópico de .....	40
22.	Planta de ubicación y perfiles estratigráficos, área de estudio.....	42
23.	Registro de perforación 1 .....	44

24.	Registro de perforación 2.....	45
25.	Registro de perforación 3.....	46
26.	Registro de perforación 4.....	47
27.	Capacidad de carga para cimentación cuadrada .....	48
28.	Esquema de propuesta de cimentación .....	49

## TABLAS

I.	Propiedades de los diferentes tipos de roca según su origen .....	5
II.	Calidad de la roca según el porcentaje de RQD .....	9
III.	Ubicación geográfica del área de estudio.....	19
IV.	Profundidades de perforación de muestreo .....	23
V.	Características de los macizos rocosos .....	34
VI.	Caracterización petrográfica macroscópica .....	37
VII.	Fases minerales de la roca .....	39
VIII.	Composición química de la roca .....	39
IX.	Resistencia de roca, prueba de carga puntual .....	43



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ø</b>	Ángulo de fricción
<b>CA-1</b>	Carretera centroamericana número 1
<b>cm</b>	Centímetro
<b>c</b>	Cohesión
<b>RMR</b>	Índice de calidad del macizo rocoso
<b>RQD</b>	Índice de calidad de roca
<b>Ja</b>	Índice de alteración de las paredes de las fracturas
<b>Jn</b>	Índice del número de familias de fracturas
<b>Jr</b>	Índice de rugosidades de las fracturas
<b>Jw</b>	Índice del caudal de afluente
<b>Jv</b>	Número de juntas identificadas en el macizo rocoso
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>psi</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>Mpa</b>	Mega pascal
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>T</b>	Tonelada



## GLOSARIO

<b>Andesita</b>	Roca ígnea volcánica extrusiva, de grano fino de composición intermedia, que contienen cristales compuestos principalmente de minerales de feldespato, plagioclasa intermedia (oligoclasa o andesina), y uno o más de los piroxenos (clinopiroxeno y ortopiroxeno), y cantidades menores de hornblenda. Contiene entre 52 y 66 % en peso de sílice (SiO <sub>2</sub> ).
<b>Buzamiento</b>	Ángulo de inclinación que mide un plano dado con respecto a la horizontal, no mayor de 90 grados.
<b>CESEM</b>	Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas.
<b>CETEC</b>	Centro Tecnológico
<b>Cimentación</b>	Conjunto de elementos estructurales de una edificación cuya misión es transmitir sus cargas o elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.
<b>Discontinuidad</b>	Cualquier plano de origen tectónico, mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja.

<b>Estratigrafía</b>	Rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.
<b>Estribo</b>	Parte de un puente destinada a soportar el peso del tablero. También recibe el nombre de contrafuerte.
<b>Grado de meteorización</b>	Sistema de evaluación de la meteorización adoptado por la Sociedad Internacional de Mecánica de rocas. El grado de meteorización de un afloramiento rocoso es una característica fundamental de este, porque determina características tan importantes como la excavabilidad o la estabilidad de los desmontes excavados en él.
<b>Índice <i>RQD</i></b>	<i>Rock Quality Designation</i> por sus siglas en inglés se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje), sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.
<b><i>In situ</i></b>	Designa un método o técnica que se utiliza o tiene lugar en el mismo emplazamiento de la obra.

<b>Macizo rocoso</b>	Forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Un macizo rocoso está compuesto por una o varias rocas, que a su vez contiene diversas discontinuidades: planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales.
<b>Perfil estratigráfico</b>	Se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica, o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto.
<b>Suelo</b>	Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.
<b>Roca</b>	Agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes.
<b>Rumbo</b>	Orientación de la línea horizontal de intersección entre un plano ubicado en el espacio y un plano horizontal imaginario.





## RESUMEN

Desde 1958, sobre el río “Los Esclavos” existe un puente que lleva el mismo nombre, se encuentra ubicado en el km 66+400 de la carretera CA-01 Oriente, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa.

Este puente se encuentra cimentado sobre roca, la subestructura es metálica, en forma curva. Sus bases se encuentran en dos puntos del puente, siendo estos marcos rígidos de concreto reforzado, ubicados en la entrada y la salida del mismo. Este puente tiene tal diseño, porque es un río caudaloso, y si tuviera pilas en alguna parte de su longitud, serían derribadas por la fuerza del agua. Por tal razón, la subestructura del puente es metálica, para que este no sea demasiado pesado. La longitud de la estructura es de 71.90 metros, con un ancho de rodadura de 7.35 metros.

Este puente ha cumplido el objetivo para el cual fue diseñado, sin embargo, debido al crecimiento poblacional y actividad económica, se tiene la necesidad de ampliar la carretera CA-01 Oriente, agregando dos carriles. Esta carretera al ampliarse, contará con cuatro carriles, y será necesaria la construcción de puentes paralelos para que los existentes no se vuelvan un cuello de botella.

En este caso particular, se necesita construir un nuevo puente sobre el río “Los Esclavos”. Por ser un río con gran caudal, el diseño de la estructura debe ser similar a la que existe o mejor.

Para construir el nuevo puente, se deben conocer las características físicas y geológicas de la roca, las cuales servirán para determinar si es adecuada para soportar una cimentación de este tipo. Para saber si es o no una roca sana, se harán ensayos a la roca, y a través de la caracterización física y geológica que se haga a la misma, se podrá recomendar que se construya la cimentación del puente.

Es necesario estudiar la roca para determinar si esta es capaz de soportar las cargas que le transmitirá el puente al estar en funcionamiento, tanto de su propio peso, así como las cargas del transporte que transite sobre él.

Se carece de la caracterización física y geológica de la roca, y no sería correcto suponer que, por ser un macizo rocoso sobre el cual se cimentó el puente existente, este será capaz de soportar otra estructura similar y paralela a la actual. Como no se puede conocer el estado de la roca a simple vista, se deben realizar ensayos a la misma para determinar si es apta o no para utilizarla como base de la cimentación del nuevo puente.

En Guatemala, para todo puente que se necesite construir se realizan estudios del área donde se desea cimentar, ya que se deben conocer las propiedades de la misma.

Es importante tener presente que en el país los suelos y la geología pueden cambiar muy rápidamente de un área a otra, por tal razón, siempre deben realizarse los estudios de suelos. No se puede suponer que un suelo es similar a otro, si se hiciera esto, se corre el riesgo de construir sobre un material que no es adecuado, teniendo como consecuencia el daño o colapso de la estructura.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

Para proponer las cimentaciones del nuevo puente sobre el río Los Esclavos, km 66+400 carretera CA-01 Oriente, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa; se debe conocer sobre qué tipo de roca se trabajará. Para saberlo, es necesario realizar estudios al suelo y al macizo rocoso, para contestar las interrogantes:

- ¿Cuáles son las características físicas y geológicas de la roca que servirá para cimentar el nuevo puente “Los Esclavos”?
- ¿Es una roca sana sobre la cual se cimentará el nuevo puente, qué tipo de roca es?
- ¿Son favorables las características geológicas de la roca para soportar una cimentación?
- ¿Qué tipo de cimentación se podría recomendar según la caracterización que se haga a la roca?

Se debe tener presente que debido a la topografía del terreno, es imposible construir el nuevo puente en otro lugar que no sea el que se está proponiendo.



# OBJETIVOS

## General

Caracterizar física y geológicamente la roca sobre la cual se cimentará el nuevo puente sobre el río “Los Esclavos”, para determinar si esta es apta para cimentar la nueva estructura.

## Específicos

1. Describir inicialmente el tipo y el estado en que se encuentra la roca sobre la que se va a cimentar el nuevo puente “Los Esclavos”, para determinar si esta es una roca sana, mediante la extracción de muestras con máquina rotatoria y ensayo de carga uniaxial.
2. Establecer la composición mineralógica de la roca para caracterizarla geológicamente y describir sus propiedades, realizando un análisis químico y caracterización petrográfica macroscópica.
3. Analizar el patrón de fracturamiento para el macizo rocoso, evaluando el talud de roca en el sitio en donde se hará la cimentación.
4. Determinar qué tipo de cimentación se podría utilizar según la caracterización de la roca, y finalmente proponer una cimentación para el puente, explicando por qué razón se propone la misma.



## **HIPÓTESIS**

La roca sobre la cual se construirá la cimentación para el nuevo puente “Los Esclavos” es una roca sana, con propiedades físicas y geológicas aptas para soportar las cargas que le transmitirá el puente, debido al tránsito vehicular y por su propio peso.





## RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo la investigación del tema caracterización física y geológica de la roca para cimentación del nuevo puente “Los Esclavos”, kilómetro 66+400 carretera CA-01 Oriente, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa, se realizó investigación teórica, así como de campo.

La caracterización física y geológica de la roca para cimentación del nuevo puente “Los Esclavos” se logró a través de la realización de ensayos de campo en el manto rocoso propuesto para cimentar el puente, se llevaron a cabo cuatro perforaciones, dos en el estribo de entrada del puente, y dos en el estribo de salida del puente. Se obtuvieron las muestras de las perforaciones con máquina rotativa, se enviaron al laboratorio y se tuvieron los resultados de la roca, los cuales sirven para caracterizar inicialmente las propiedades físicas y mecánicas de la misma.

Para profundizar en la caracterización de la roca, se envió una muestra de la roca al laboratorio del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), en donde se llevó a cabo el análisis macroscópico. También se envió una muestra de roca al Centro Tecnológico (CETEC) de la empresa Cementos Progreso, Sociedad Anónima, para conocer sus características geoquímicas mediante el análisis a través de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

Luego de analizar los resultados de los estudios realizados a la roca de cimentación, se pudo concluir en qué tipo de roca se podrá cimentar, y debido a sus características, se realizó una propuesta de cimentación.



## INTRODUCCIÓN

Una cimentación es una estructura que tiene como objetivo principal proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos.

Existen dos tipos de cimentaciones, siendo estas las superficiales y las profundas. Dentro de las cimentaciones superficiales se encuentran las zapatas, losa de cimentación y viga de cimentación o zapata corrida. Las cimentaciones profundas consisten en pilotes.

Debido al aumento de la población a nivel nacional y al incremento del comercio, se ha presentado una mayor carga vehicular, la cual será distribuida por medio de una ampliación de la carretera CA-01 Oriente. Para que no se generen conflictos vehiculares en los puentes, también se construirán puentes a lo largo de la ampliación.

En el caso en estudio, se realizará la caracterización física y geológica de la roca para cimentación del nuevo puente "Los Esclavos", kilómetro 66+400, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa. Esto será posible por los ensayos que se realicen a las muestras de roca que se extraigan de la posible base para el puente, a través de perforaciones y el análisis de la misma.

En el capítulo 1 se describen los antecedentes generales, siendo estos el suelo y su origen, principales tipos de suelo y rocas. El capítulo 2 presenta los

tipos de cimentaciones, ya sean superficiales o profundas. En el capítulo 3 se muestra la caracterización física y geológica de la roca, la cual se logra a través de ensayos de laboratorio efectuados a la roca donde se cimentará el nuevo puente. El capítulo 4 consiste en los resultados de la investigación, concluyendo con una propuesta de cimentación para la nueva estructura.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES (MARCO TEÓRICO)**

En el caso en estudio, que es la caracterización física y geológica de la roca para la cimentación del nuevo puente “Los Esclavos”, los agentes físicos que han afectado los cambios en la roca son el agua, el viento y el sol. Debido a que en Guatemala el clima no es tan frío al extremo de tener glaciares, por lo que estos no afectarán los cambios en la roca.

Es necesario comprobar, a través de la observación y de la realización de ensayos de laboratorio (ensayo de penetración estándar, perforación con máquina rotativa y carga uniaxial) a las muestras de roca que se obtengan de las perforaciones; que la roca es sana y es capaz de soportar las cargas a las que será sometida al sostener una nueva estructura, siendo esta el nuevo puente “Los Esclavos”.

### **1.1. El suelo y su origen**

Crespo Villalaz (2004) indica que el suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de la actividad de los seres vivos que sobre ella se asientan. Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas.

Las rocas de la corteza terrestre, por medio de un proceso de desintegración mecánica y de descomposición química, forman los materiales sueltos que se encuentran en ella.

Entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas se tienen:

- Agua
- Sol
- Viento
- Glaciares

### **1.1.1. Principales tipos de suelos**

Tomando en cuenta el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos: aquellos cuyo origen se debe a la descomposición física y química de las rocas (suelos inorgánicos), y cuyo origen es principalmente orgánico.

En los suelos inorgánicos, si el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual; en caso contrario forman un suelo transportado, ya sea por el agua, viento, gravedad o los glaciares.

Los suelos orgánicos se forman casi siempre *in situ*. Muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico, que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas.

A continuación se describen los tipos de suelos, con nombres generalmente utilizados en ingeniería civil.

### **1.1.1.1. Suelos granulares**

Estos se caracterizan por carecer de cohesión y consisten en rocas, gravas y arenas.

#### **1.1.1.1.1. Gravas**

Crespo Villalaz (2004) dice que las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de 2 milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas.

#### **1.1.1.1.2. Arenas**

Crespo Villalaz (2004) señala que la arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 y 0,05 mm de diámetro.

### **1.1.1.2. Suelos cohesivos**

Crespo Villalaz (2004) muestra que estos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas.

#### **1.1.1.2.1. Limos**

Crespo Villalaz (2004) dice que son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último



caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 y 0,005 mm.

#### **1.1.1.2.2. Arcillas**

Crespo Villalaz (2004) señala que se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

### **1.2. Definición de roca**

Peck, Hanson & Thornburn (2004) indican que los términos roca y suelo, tal y como se usan en la ingeniería civil, implican una clara distinción entre dos clases de materiales de cimentación. Se dice que roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua.

En el presente estudio, la roca para la cimentación del nuevo puente “Los Esclavos” serán observadas y ensayadas en laboratorio las muestras que se extraigan de las cuatro perforaciones. Por medio de este procedimiento será posible concluir que la roca para la cimentación del nuevo puente es una roca sana, capaz de soportar las cargas a las que será sometida al construir una nueva estructura sobre la misma.

A través de la historia geológica de la región a la que pertenece la roca que servirá para cimentar el nuevo puente, se podrá clasificar la roca según su origen: metamórfica, sedimentaria o ígnea, y su grado de meteorización.

### 1.2.1. Clasificación de las rocas según su origen

Según su origen, las rocas pueden clasificarse como:

- Metamórficas
- Sedimentarias
- Ígneas

Tabla I. **Propiedades de los diferentes tipos de roca según su origen**

TIPO DE ROCA		PESO ESPECÍFICO (t/m <sup>3</sup> )	TAMAÑO DE GRANO (mm)	FACTOR DE ESPONJAMIENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	
Ígnea	Intrusiva	Diorita	2.65 - 2.85	1.5 - 3	1.5	170 - 300
		Gabro	2.85 - 3.2	2	1.6	260 - 350
		Granito	2.7	0.1 - 2	1.6	200 - 350
	Extrusiva	Andesita	2.7	0.1	1.6	300 - 400
		Basalto	2.8	0.1	1.5	250 - 400
		Riolita	2.7	0.1	1.5	120
		Traquita	2.7	0.1	1.5	330
Sedimentaria	Conglomerado	2.6	2	1.5	140	
	Arenisca	2.5	0.1 - 1	1.5	160 - 255	
	Pizarra de grano fino	2.7	1	1.35	70	
	Caliza	2.6	1 - 2	1.55	120	
	Dolomita	2.7	1 - 2	1.6	150	
Metamórfica	Neis	2.7	2	1.5	140 - 300	
	Mármol	2.7	0.1 - 2	1.6	100 - 200	
	Cuarcita	2.7	0.1 - 2	1.55	160 - 220	
	Esquisto	2.7	0.1 - 1	1.6	60 - 400	
	Serpentina	2.6	-	1.4	30 - 150	
	Pizarra	2.7	0.1	1.5	150	

Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España. *Manual de perforación y voladura de rocas*. p. 21.

#### 1.2.1.1. Rocas metamórficas

Tarbutck & Lutgens (2005) dicen que el metamorfismo es la transformación de un tipo de roca en otro. Las rocas metamórficas se forman a partir de rocas

ígneas, sedimentarias o incluso de otras rocas metamórficas. Por tanto, todas las rocas metamórficas tienen una roca madre: la roca a partir de la cual se formaron.

Las rocas metamórficas se transforman debido a cambios de temperatura, presión y la introducción de fluidos químicamente activos. Inicialmente una roca que se encuentra en un clima determinado puede cambiar al someterse a diferentes ambientes físicos y químicos.

### **1.2.1.2. Rocas sedimentarias**

Tarbuck & Lutgens (2005) indican que los productos de la meteorización mecánica y química constituyen la materia prima para las rocas sedimentarias. La palabra sedimentaria indica la naturaleza de esas rocas, pues deriva de la palabra latina *sedimentum*, que hace referencia al material sólido que se deposita a partir de un fluido (agua o aire). La mayor parte del sedimento, pero no todo, se deposita de esta manera.

Conforme se acumulan las pilas de sedimentos, los materiales próximos al fondo se compactan. Durante largos períodos, la materia mineral depositada en los espacios que quedan entre las partículas cementan estos sedimentos formando una roca sólida.

Las rocas sedimentarias forman una capa delgada de la corteza terrestre, la cual es discontinua. Este tipo de rocas posee fósiles, los cuales son de gran importancia para la historia. El carbón es una roca sedimentaria muy útil para generar energía.

### **1.2.1.3. Rocas ígneas**

Tarbutck & Lutgens (2005) señalan que las rocas ígneas forman la mayor parte de la corteza terrestre. De hecho, con la excepción del núcleo exterior líquido, la porción sólida restante del planeta es básicamente una enorme roca ígnea, parcialmente cubierta por una delgada capa de rocas sedimentarias.

Las rocas ígneas (*ignis* = fuego) se forman conforme se enfría y solidifica una roca fundida. Las rocas ígneas que se forman cuando se solidifica la roca fundida en la superficie terrestre se clasifican como extrusivas (ex = fuera; tradere = empujar) o volcánicas (de Volcano, el dios del fuego).

Las rocas ígneas son muy comunes en el área conocida como Cinturón de Fuego, la cual está conformada por los volcanes que recorren en forma transversal a Guatemala. Este tipo de rocas poseen diversas texturas. Dependiendo del tiempo que tarde en enfriarse el magma del cual se forma la roca ígnea, así será la textura final de esta. Los minerales que contenga la roca determinarán su color.

### **1.3. Mecánica de rocas**

Es la ciencia del comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos; es la rama de la mecánica referente a la respuesta de la roca y del macizo rocoso a los campos de fuerza de su ambiente físico.

Para clasificar un macizo rocoso existen varios métodos, entre ellos se pueden escoger algunos elaborados por autores conocidos mundialmente en el campo de la mecánica de rocas, entre estos se pueden mencionar a Barton y Bieniawski.

Las rocas están cambiando constantemente, en composición y ubicación, debido a procesos tales como fundición y metamorfismo. En la superficie de la Tierra, las fuerzas tectónicas causan deformación, mientras que el intemperismo y la erosión reciclan las rocas en la superficie. El continuo ciclo de rocas en el interior y en la superficie terrestre se conoce como el ciclo de las rocas.

### 1.3.1. **Rock Quality Design (RQD)**

Deere, et al (1964) indica que *Rock Quality Design (RQD)* es un índice cuantitativo de la calidad de la roca obtenida de la recuperación de testigos, obtenidos con una perforadora diamantada de doble barril de diámetro mínimo de 50 mm, y se define como el porcentaje de la longitud de testigo recuperado en trozos mayores de 10 cm respecto a la longitud de sondeo.

Figura 1. **Fórmula del índice de calidad de la roca (RQD)**

$$\text{RQD} = \frac{\Sigma(\text{longitud\_fragmentos\_} \geq 10\text{cm})}{\text{longitud\_total\_perforada}} \times 100$$

Fuente: Moreno Tallón, E. *Las clasificaciones geomecánicas de las rocas, aplicadas a las obras subterráneas*. p.51.

Tabla II. **Calidad de la roca según el porcentaje de RQD**

<b>RQD (%)</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>	<b>ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE ROCA</b>
0 – 25	Muy pobre (muy mala)	Muy cerrada	Triturada, desecha
25 – 50	Pobre (mala)	Cerrada	Fragmentada, muy bloqueada
50 – 75	Regular	Moderadamente ancha	Agrietada
75 – 90	Buena	Ancha	Masiva, moderadamente fracturada
90 – 100	Muy buena (excelente)	Muy ancha	Intacta

Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España. *Manual de perforación y voladura de rocas*. p. 227.

### 1.3.2. **Rock Mass Rating (RMR)**

Bieniawski (1989) muestra que es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño. El parámetro que define la clasificación es el denominado índice *RMR* (*Rock Mass Rating*), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- (1) Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa
- (2) RQD Grado de fracturación del macizo rocoso
- (3) Espaciado de las discontinuidades

- (4) Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
  - Abertura de las caras de la discontinuidad
  - Continuidad o persistencia de la discontinuidad
  - Rugosidad
  - Alteración de la discontinuidad
  - Relleno de las discontinuidades
- (5) Presencia del agua en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.
- (6) Orientación de las discontinuidades.

Para obtener el índice *RMR* de Bieniawski se realiza lo siguiente:

- Se suma las 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (*RMR* básico).
- El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

El valor del *RMR* varía entre 0 a 100.

### 1.3.3. Método “Q” de Barton

Barton, et al (1974) muestra que en esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

basado en los seis parámetros siguientes:

- RQD: (*Rock Quality Designation*)
- Jn: número de familias de juntas
- Jr: rugosidad de las juntas
- Ja: meteorización de las juntas
- Jw: agua en las juntas
- SRF: (*Stress Reduction Factor*)





## **2. CIMENTACIONES (MARCO TEÓRICO)**

Crespo Villalaz (2004) indica que el objeto de una cimentación es proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamientos tolerables, ya sean estos uniformes o diferenciales.

Se debe tener presente la importancia que tienen las cimentaciones en todo tipo de infraestructura. En el caso en estudio, la cimentación del nuevo puente Los Esclavos se realizará sobre roca.

### **2.1. Tipos de cimentaciones**

Crespo Villalaz (2004) muestra que, en forma general, las cimentaciones pueden ser clasificadas en dos grupos: directas e indirectas.

En Guatemala se conocen las cimentaciones directas como superficiales, mientras que las cimentaciones indirectas son conocidas como profundas.

#### **2.1.1. Cimentaciones superficiales**

Crespo Villalaz (2004) señala que una cimentación directa es aquella en la cual los elementos verticales de la superestructura se prolongan hasta el terreno de cimentación, descansando directamente sobre él mediante el ensanchamiento de su sección transversal, con el fin de reducir el esfuerzo

unitario que se transmite al suelo. De este tipo son las zapatas aisladas, las zapatas conectadas, las zapatas ligadas, las cimentaciones por trabes y las losas de cimentación.

Las cimentaciones superficiales se utilizan en suelos que poseen una capacidad soporte capaz de resistir las cargas a los que serán sometidos. Las zapatas tienen como función principal distribuir en un área mayor al de las columnas, los esfuerzos que transmita la estructura al suelo.

Si al hacer la relación profundidad dividido ancho ( $Df/B$ ), el resultado es menor o igual a cinco (5), esta es una cimentación superficial; siendo  $Df$  la profundidad de la cimentación y  $B$  el ancho o diámetro de la misma.

#### **2.1.1.1. Zapatas**

Son cimentaciones superficiales que se utilizan en suelos homogéneos y de media a alta resistencia a la compresión. Para su construcción se utiliza concreto armado. Su función principal es transmitir al terreno las cargas que le provoca la estructura.

Existen varios tipos de zapatas. Para columnas separadas se utilizan las aisladas; para dos columnas cercanas, zapatas combinadas; para hileras de columnas o muros, zapatas corridas.

#### **2.1.1.2. Viga de cimentación o zapata corrida**

Esta se puede utilizar bajo muros o bajo zapatas, recibe cargas lineales, generalmente a través de un muro. Se construyen de concreto armado. En relación a su sección transversal, se puede decir, que son cimentaciones de gran

longitud. Se debe utilizar este tipo de cimentación cuando se necesita cimentar un elemento continuo o para darle proximidad a las columnas de una construcción.

### **2.1.1.3. Losa de cimentación**

Esta tiene como función principal transmitir las cargas de una construcción al suelo, distribuyendo los esfuerzos de forma uniforme. Se construye de concreto armado y es necesaria utilizarla cuando la capacidad soporte del suelo sea baja, y si el área de construcción es mucho mayor que el área de cimentación (edificios, silos, entre otros).

### **2.1.2. Cimentaciones profundas**

Crespo Villalaz (2004) muestra que una cimentación indirecta es aquella que se lleva a cabo por elementos intermedios como los pilotes, cilindros y cajones de cimentación, ya que el suelo resistente se encuentra relativamente a gran profundidad.

Las cimentaciones profundas se utilizan para transmitir las cargas de la infraestructura hacia suelo con buena capacidad soporte. Por lo general, la utilización de cimentaciones profundas incrementa el costo de una construcción.

Si al hacer la relación profundidad dividido ancho ( $D_f/B$ ), el resultado es mayor a cinco (5), esta es una cimentación profunda; siendo  $D_f$  la profundidad de la cimentación y  $B$  el ancho o diámetro de la misma.

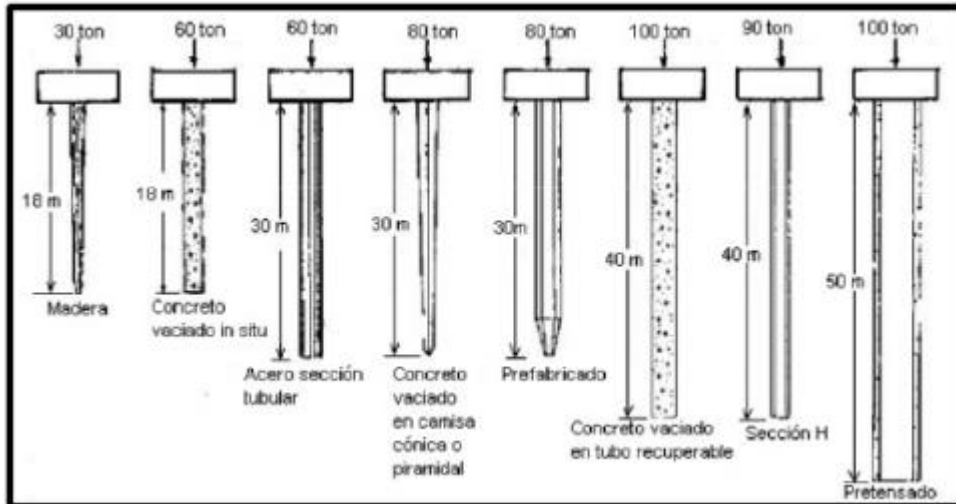
### **2.1.3. Pilotes**

Crespo Villalaz (2004) dice que los pilotes son elementos que se utilizan para transmitir las cargas de una estructura a estratos profundos más resistentes que los mantos superficiales, o bien cuando la estructura deba construirse en un sitio cubierto por agua. Los pilotes pueden clasificarse atendiendo a diferentes causas:

- Respecto a los materiales empleados en su elaboración:
  - De madera
  - De acero
  - De concreto simple
  - De concreto reforzado
  - De concreto preesforzado
  - Mixtos
  
- Respecto al lugar de su construcción:
  - Prefabricados: cuando el pilote se fabrica en lugar distinto al de su hincada.
  - Fabricados en el lugar de la hincada.

- Respecto a la sección transversal:
  - Hueca
  - Maciza
  
- Respecto a su apoyo:
  - Pilotes de fricción: cuando la mayor parte de la carga del pilote se transmite al terreno por fricción en su parte lateral.
  - Pilotes de punta: cuando la mayor parte de la carga del pilote se transmite por apoyo directo del extremo del pilote a un manto resistente.
  - Pilotes de apoyo mixto: cuando parte de la carga del pilote se transmite al terreno por fricción y el resto por apoyo directo.
  
- Respecto a su dirección:
  - Pilotes verticales
  - Pilotes inclinados

Figura 2. Tipos de pilotes según su capacidad de carga



Fuente: *Tipos de cimentaciones*. [http://www.academia.edu/7719275/tipos\\_de\\_cimentaciones.c](http://www.academia.edu/7719275/tipos_de_cimentaciones.c).

Consulta: 24-11-2016.

### 3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GEOLÓGICA DE LA ROCA PARA CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE “LOS ESCLAVOS”

#### 3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en el municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa. Específicamente se encuentra en el estacionamiento 66+400 de la carretera CA-01 Oriente.

El municipio de Cuilapa colinda al norte con Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; al sur con Santa María Ixhuatán, Santa Rosa; al este con San José Acatempa, Jutiapa y Oratorio, Santa Rosa; y al oeste con Barberena, Santa Rosa.

A continuación se muestra la tabla III con la ubicación geográfica del área de estudio, así como la localización del mismo en la figura 3.

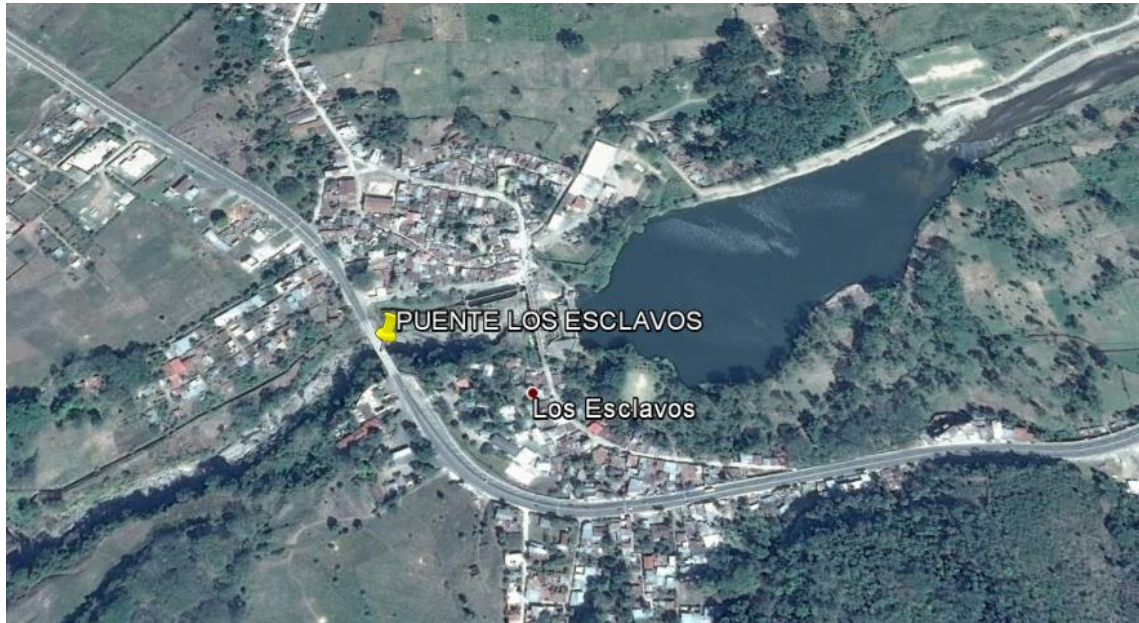
Tabla III. **Ubicación geográfica del área de estudio**

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DATUM WGS84	14° 15' 11.24" norte
	-90° 16' 43.86" oeste
COORDENADAS UTM DATUM WGS84	X= 793632.17, zona 15
	Y= 1577438.42, zona 15

Fuente: elaboración propia, empleando programa My GPS Coordinates.



Figura 3. **Localización del área de estudio**



Fuente: Google Earth. Consulta: abril de 2016

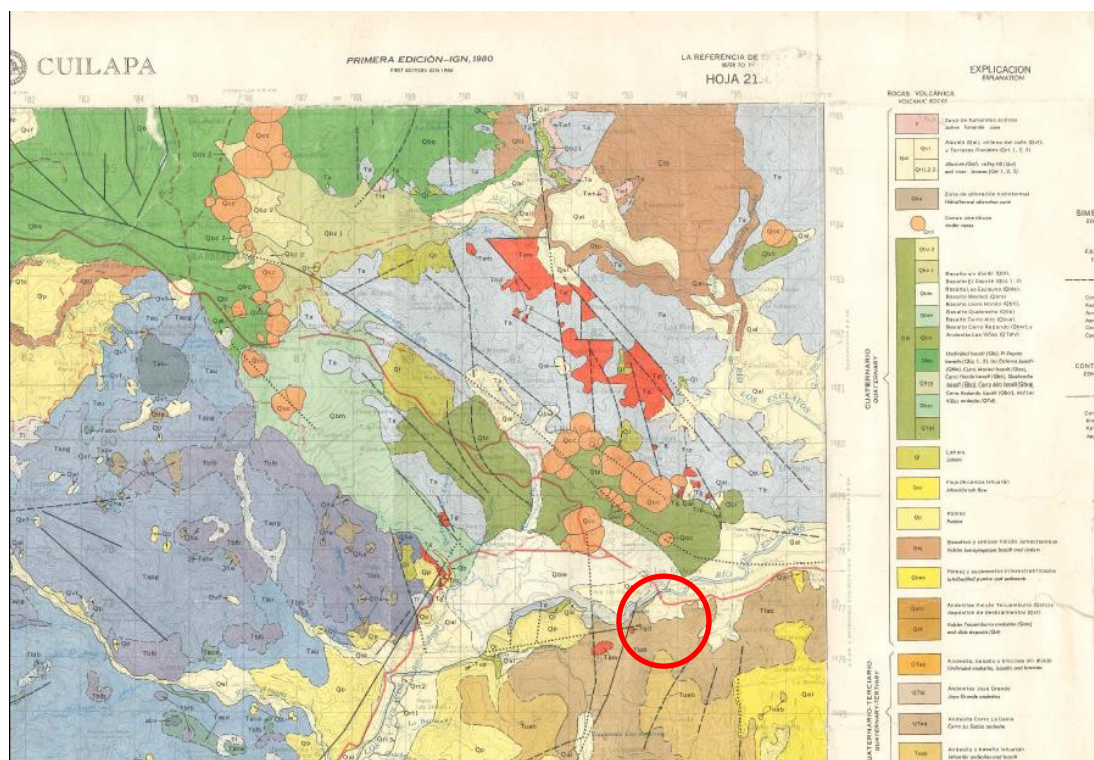
La roca a caracterizar para la construcción del nuevo puente “Los Esclavos”, se ubica en un terreno con topografía irregular, con una diferencia de altura de veintiún (21) metros entre el cauce del río y la carretera existente y una altura de trece (13) metros desde el nivel del río al nivel del terreno natural en los puntos de perforación. El área de estudio se encuentra a una altitud de setecientos treinta y dos (732) metros sobre el nivel del mar (msnm).

### **3.1.1. Geología del área de estudio**

La geología del área en estudio está influenciada tectónicamente, principalmente por la falla de Jalpatagua. Las unidades litológicas y su distribución se presentan en el mapa geológico que se muestra en la figura 4.

En el mapa geológico de Cuilapa que se muestra a continuación, se puede observar que el área en estudio corresponde a la unidad geológica conocida como Basalto Los Esclavos (Qble), la cual pertenece al período Cuaternario. Dentro del círculo rojo se presenta el área en estudio.

Figura 4. **Mapa geológico de Cuilapa, escala 1:50,000**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional. Escala 1: 50,000. Fragmento del mapa geológico del cuadrángulo de Cuilapa.

### 3.2. Caracterización física de la roca en el sitio

Para caracterizar física y mecánicamente la roca de cimentación para la construcción del nuevo puente “Los Esclavos”, se analizaron las muestras resultantes de los ensayos que se realizaron a la misma.

### **3.2.1. Ensayos de laboratorio**

Para conocer la estratigrafía y características de los materiales se realizaron ensayos de laboratorio, los cuales se describen a continuación.

#### **3.2.1.1. Perforaciones**

Las muestras de la roca para cimentación del nuevo puente “Los Esclavos” se podrían haber obtenido a través de dos formas, siendo estos:

- Ensayo de penetración estándar (SPT)
- Perforación con máquina rotativa

El *Manual de diseño de puentes* (2003) indica que la profundidad de las exploraciones estará definida considerando un predimensionamiento de la cimentación y las condiciones locales del subsuelo. En el caso de macizos rocosos, se requerirá extender la profundidad de los sondajes de uno (1) a tres (3) metros por debajo del nivel estimado de cimentación.

##### **3.2.1.1.1. Ensayo de penetración estándar (SPT)**

El ensayo de penetración estándar o SPT (*Standard Penetration Test*) es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos blandos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico. Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara muy robusta, que permite tomar una muestra, naturalmente alterada en su interior. Debido a que la roca para cimentación del

nuevo puente “Los Esclavos” es bastante dura, al obtenerse rechazo, se optó por obtener las muestras realizando las perforaciones con máquina rotativa.

### 3.2.1.1.2. Perforación con máquina rotativa

Para la obtención de las muestras de la roca para cimentación del nuevo puente “Los Esclavos”, se realizaron cuatro perforaciones rotativas; se ubicaron dos en el estribo de entrada y dos en el estribo de salida del puente, lado norte. Para las perforaciones se utilizó el siguiente equipo:

- Core barrel de dos pulgadas de diámetro y cinco pies de longitud, con broca de diamante, con core lifter y herramienta de perforación AW.
- Equipo de bombeo.
- Agua.
- Bentonita.

Se efectuaron muestreos continuos en seco en cada una de las perforaciones. Las muestras obtenidas se medían y se colocaban en cajas para ser trasladadas al laboratorio.

Tabla IV. **Profundidades de perforación de muestreo**

<b>PERFORACIÓN NÚMERO</b>	<b>PROFUNDIDAD (PIES)</b>
1	35
2	35
3	35
4	35

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa



Al llevar a cabo las perforaciones se pudo observar un mismo tipo de material de color gris, el cual por observación se determinó que era una roca volcánica. No se encontró nivel freático. Es de resaltar que en las cuatro perforaciones, el manto rocoso se encontró a una profundidad de 0.50 metros, así como una capa vegetal de 0.50 metros de espesor aproximado.

Las características de las cuatro perforaciones son similares, y que las mismas es altamente probable que pertenezcan al mismo macizo rocoso, a pesar de estar separadas por el río Los Esclavos. También fue posible la localización de pequeñas cavernas en las perforaciones uno (estribo de entrada) y tres (estribo de salida).

Figura 5. **Máquina rotativa**



Fuente: estribo de salida del puente, río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 6. **Muestra colocada en caja para traslado a laboratorio**



Fuente: estribo de salida del puente, río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 7. **Macizo rocoso en estribo de entrada del puente**



Fuente: estribo de salida del puente, río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 8. **Muestra del núcleo recuperado en estribo de salida del puente**



Fuente: estribo de salida del puente, río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 9. **Subestructura del puente existente**



Fuente: estribo de salida del puente, río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.



### 3.2.2. Características de los macizos rocosos

Se tomaron medidas de fracturamiento de la roca en afloramiento para correlacionarla con las características del material obtenido en las perforaciones.

Los resultados de estas mediciones establecen que existe una orientación preferencial, de acuerdo a lo que indican los estereogramas.

A continuación, en la figura 10 se muestra en fotografías el proceso de medición de las rocas del área en estudio.

Figura 10. **Medición de rumbo del macizo rocoso**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.



Figura 11. **Medición de buzamiento del macizo rocoso**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 12. **Mediciones *in situ* del macizo rocoso**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 13. **Estado actual del macizo rocoso en área de estudio**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

En las muestras del estribo de entrada, el rumbo varía de ciento cincuenta (150) a doscientos diez (210) grados, con buzamientos fuertes entre setenta y cinco (75) y ochenta y cinco (85) grados hacia el oeste y este. La otra familia importante son las de bajo ángulo y que cortan el talud del macizo, generando así los bloques que se pueden desprender con el tiempo, estas tienen rumbos entre N080 y N110 con buzamientos bajos entre quince (15) y veinticinco (25) grados hacia el sur. La marcada tendencia trimodal del fracturamiento se muestra en la figura con la roseta de rumbos y los estereogramas de las fracturas principales. (Figuras 17 y 18).

Las fracturas subverticales de ángulo fuerte entre 75 y 85 grados cortan practicante todo el talud, y todas han indicado por fracturas de enfriamiento que es el origen principal, aunque no se descartan fracturas tectónicas, producto de

la influencia de la zona de falla de Jalpatagua que está en la zona de influencia del sitio en estudio.

La separación entre grietas es de cero punto noventa (0.90) a dos punto diez (2.10) metros, lo cual significa que es una separación ancha. Esto genera bloques métricos, tal como se observa en los bloques caídos en la orilla del río.

En las muestras del estribo de salida, el rumbo varía de cero (0) a treinta y cinco (35) grados. El buzamiento de la familia uno es de setenta (70) a ochenta (80) grados, y el buzamiento de la familia dos de menos diez (-10) a menos veinte (-20) grados.

La separación entre grietas es de uno (1.00) a cuatro (4.00) metros, lo cual significa que es una separación ancha.

Figura 14. **Bloques métricos caídos al pie del talud del macizo rocoso**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.



Figura 15. **Bosquejo de bloques del macizo rocoso**



Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 16. **Línea de crecida del río Los Esclavos**

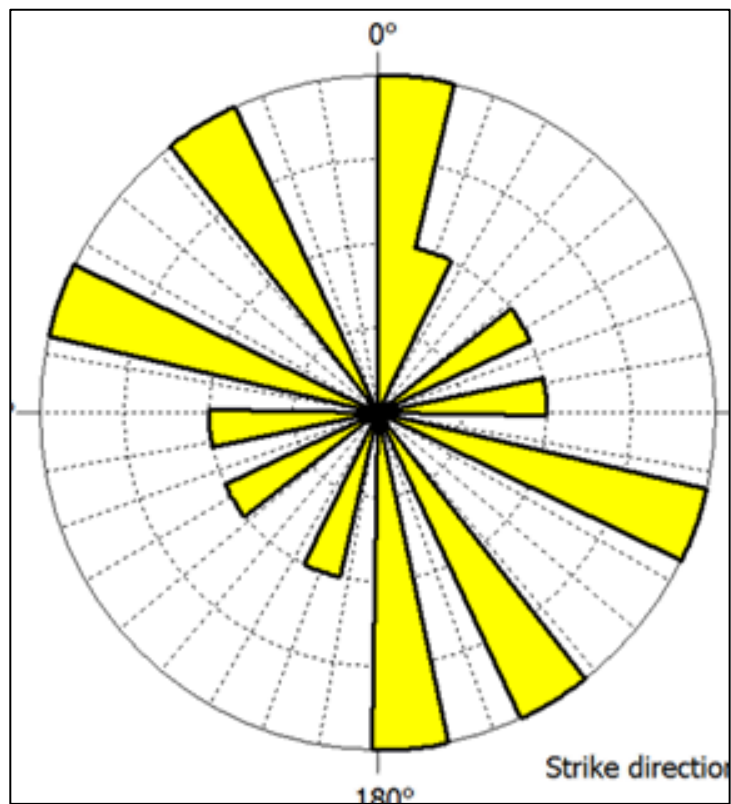


Fuente: a un costado del río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

En la figura 6 se muestra la línea de crecida del río Los Esclavos que se ve condicionada también, por el funcionamiento del embalse aguas arriba del puente. Esto con el tiempo contribuye al desprendimiento de la base del talud de bloques. Se pueden observar las fracturas subhorizontales de enfriamiento casi paralelas a la línea de crecida del río Los Esclavos.

A continuación, en la figura 17 se presenta la roseta de rumbos que refleja la tendencia trimodal del fracturamiento local (N180, N150 y N200), con dos modas subordinadas y menores (N065 y N085).

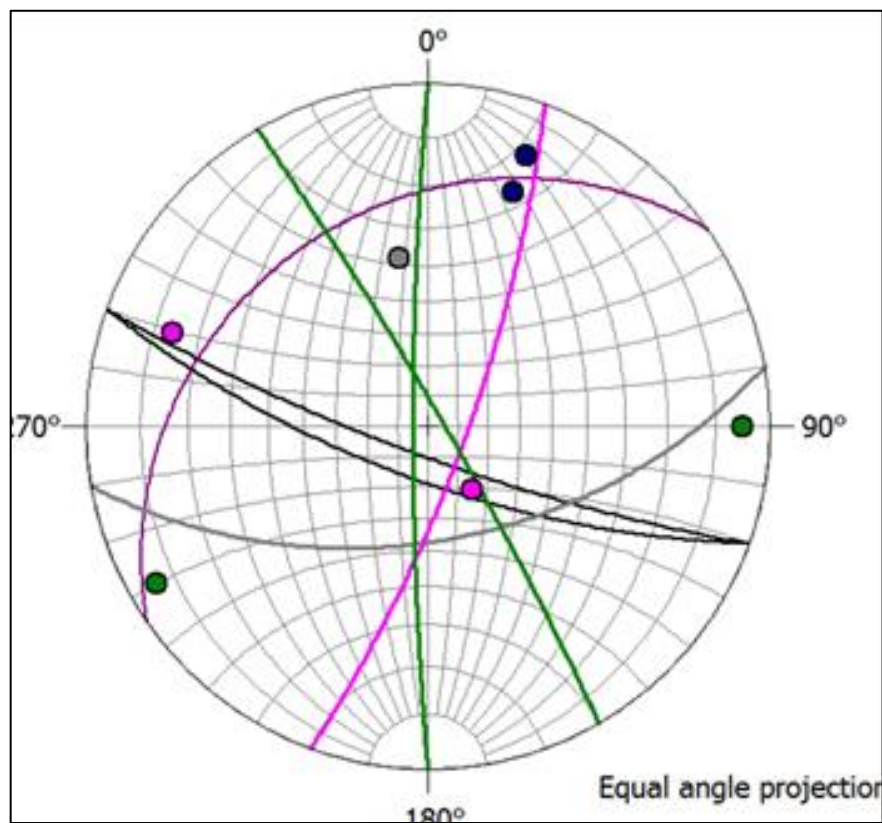
Figura 17. **Roseta de rumbos**



Fuente: Romero, J., empleando programa Geo5.

En los estereogramas que se muestran en la figura 18 se puede observar que las fracturas en verde, que son subverticales al ser cortadas, principalmente por las grises y oscuras, forman los bloques que han caído. Los colores fucsia y morado son fracturas menores que solo tienen influencia muy localizada.

Figura 18. **Estereogramas del macizo rocoso**



Fuente: Romero, J., empleando programa Geo5.

En la tabla V se muestran las características del macizo rocoso sobre los cuales se desea construir el nuevo puente “Los Esclavos”.

Tabla V. **Características de los macizos rocosos**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ESTRIBO DE ENTRADA</b>	<b>ESTRIBO DE SALIDA</b>
<b>Material</b>	Roca volcánica	Roca volcánica
<b>Color</b>	Gris	Gris
<b>Número de familias de juntas</b>	2	2
<b>Rumbo</b>	180 a 210 grados	0 a 35 grados
<b>Buzamiento familia 1</b>	75 a 80 grados	70 a 80 grados
<b>Buzamiento familia 2</b>	-15 a – 20 grados	-10 a -20 grados
<b>Separación entre grietas</b>	Ancha, de 0.90 a 2.10 metros	Ancha de 1.00 a 4.00 metros
<b>RQD</b>	35 (Pobre)	55 (Mediana)
<b>Jv</b>	1 – 3 (Grandes bloques)	1-3 (Grandes bloques)
<b>Grado de meteorización</b>	I a II	I a II
<b>Apertura de juntas</b>	1.00 a 30.00 centímetros (Grande)	1.00 a 35.00 centímetros (Grande)
<b>Relleno entre discontinuidades</b>	Nulo	Nulo
<b>Tamaño</b>	Bloques grandes de 1 m <sup>3</sup> o más	Bloques grandes de 1 m <sup>3</sup> o más
<b>Resistencia a la compresión</b>	21,000.00 PSI - 144 MPa	12,700.00 PSI – 87.50 MPa
<b>Dureza</b>	Muy dura	Dura
<b>Densidad seca</b>	2,530 Kg/m <sup>3</sup>	2,560 Kg/m <sup>3</sup>
<b>RMR</b>	60	65
<b>Observaciones</b>	Bastante permeabilidad al fondo del macizo debido a las múltiples grietas.	

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

De la tabla V se puede observar que tanto la roca que se ubica en el estribo de entrada del puente, así como en el estribo de salida, se trata del mismo tipo de roca, siendo esta una roca volcánica. Esta clasificación de roca se determinó a través de la observación.

Al analizar en el laboratorio las cuatro muestras de roca, obtenidas de las dos perforaciones en la roca del estribo de entrada del puente, y dos en el estribo de salida, se obtuvo como resultado que la roca tiene dos familias de juntas preferenciales.

En las muestras del estribo de entrada el RQD resultante es de treinta y cinco (35), siendo esta una calidad de roca pobre o mala, según se describe en la clasificación de la tabla II. El número de juntas identificadas en el macizo varía de uno (I) a tres (III), encontrándose el mismo en grandes bloques de roca. El grado de meteorización varía de uno (I) a dos (II), esto quiere decir, que se trata de una roca sana a ligeramente meteorizada. La apertura de juntas se encuentra en un rango de uno (1.00) a treinta (30.00) centímetros, siendo esto una apertura grande. El relleno entre discontinuidades es nulo.

El tamaño de la roca varía entre un (1.00) metro cúbico o más, lo que significa que se encuentra en forma de bloques grandes. La resistencia a la compresión es de veintiún mil (21,000.00) libras por pulgada cuadrada (psi) o ciento cuarenta y cuatro (144.00) mega pascales (MPa), lo cual significa que es una roca muy dura. La densidad seca de la roca es de dos mil quinientos treinta (2,530.00) kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ). El índice RMR dio como resultado sesenta (60), lo cual significa que es una roca regular.



En las muestras del estribo de salida el RQD resultante es de cincuenta y cinco (55), siendo esta una calidad de roca mediana o regular, según se describe en la clasificación de la tabla II. El número de juntas identificadas en el macizo varía de uno (I) a tres (III), encontrándose el mismo en grandes bloques de roca. El grado de meteorización varía de uno (I) a dos (II), esto quiere decir, que se trata de una roca sana a ligeramente meteorizada. La apertura de juntas se encuentra en un rango de uno (1.00) a treinta y cinco (35.00) centímetros, siendo esto una apertura grande. El relleno entre discontinuidades es nulo.

El tamaño de la roca varía entre un (1.00) metro cúbico o más, lo que significa que se encuentra en forma de bloques grandes. La resistencia a la compresión es de doce mil setecientos (12,700.00) libras por pulgada cuadrada (psi) u ochenta y siete punto cincuenta (87.50) mega pascales (MPa), lo cual significa que es una roca dura. La densidad seca de la roca es de dos mil quinientos sesenta (2,560.00) kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). El índice RMR dio como resultado sesenta (65), lo cual significa que es una roca buena.

### **3.3. Caracterización geológica de la roca**

Para caracterizar la roca para cimentación del nuevo puente Los Esclavos, una muestra fue enviada al laboratorio del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), en donde le fue realizado un estudio de caracterización petrográfica macroscópica. Por medio de este estudio fue posible conocer más a fondo las características de la roca, lo cual no sería posible a simple vista.

En la tabla VI se muestran los resultados obtenidos al analizar la muestra de la roca a través del microscopio estereoscópico.

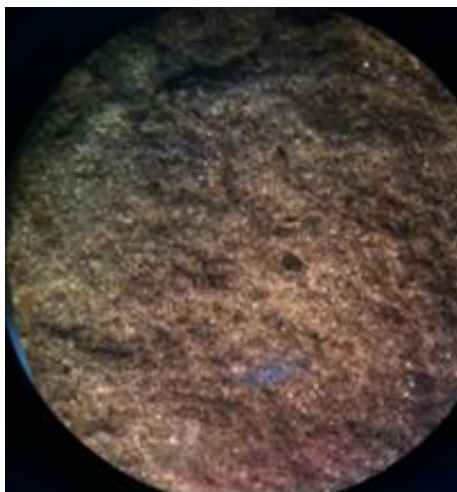
Tabla VI. **Caracterización petrográfica macroscópica**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>RESULTADO</b>
Nombre	Andesita
Tipo	Roca ígnea
Textura	Afanítica (fina)
Estructura	Compacta
Color	Pardo negruzco
Brillo	No metálico
Transparencia	Opaco
Composición mineralógica	Feldespato, cuarzo, hornblenda y minerales accesorios

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del estudio de caracterización petrográfica macroscópica realizado a muestra, CESEM.

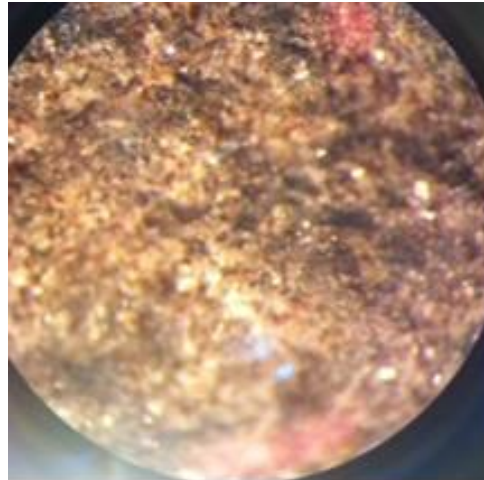
Según se puede observar en los resultados mostrados en el estudio macroscópico de la roca, esta se clasifica como una andesita.

Figura 19. **Roca vista en el microscopio estereoscópico del CESEM**



Fuente: CESEM. Estudio de caracterización petrográfica macroscópica realizado a muestra.

Figura 20. **Acercamiento de roca en el microscopio estereoscópico del CESEM**



Fuente: CESEM. Estudio de caracterización petrográfica macroscópica realizado a muestra.

La muestra de roca también fue enviada al Centro Tecnológico (CETEC) de la empresa Cementos Progreso, Sociedad Anónima, para realizar el estudio de caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

Para llevar a cabo esta caracterización, fue necesario pulverizar la muestra. Al analizar la muestra mediante la técnica de difracción de rayos X, fue posible determinar la presencia de las fases minerales: andesita, clinopiroxeno y olivina. En la siguiente tabla VII se pueden observar las fases minerales de la roca.

Tabla VII. **Fases minerales de la roca**

<b>Fase mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Concentración en % p/p</b>
Andesita	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	73.50 %
Clinopiroxeno	$(\text{Ca,Mg,Fe,Na})(\text{SiO}_6)$	13.20 %
Olivina	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	13.20 %

Fuente: Cementos Progreso, Sociedad Anónima. Caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

Al analizar la muestra de roca mediante la fluorescencia de rayos X, se obtuvieron los resultados de la composición química de la roca, estos se detallan en la tabla VIII.

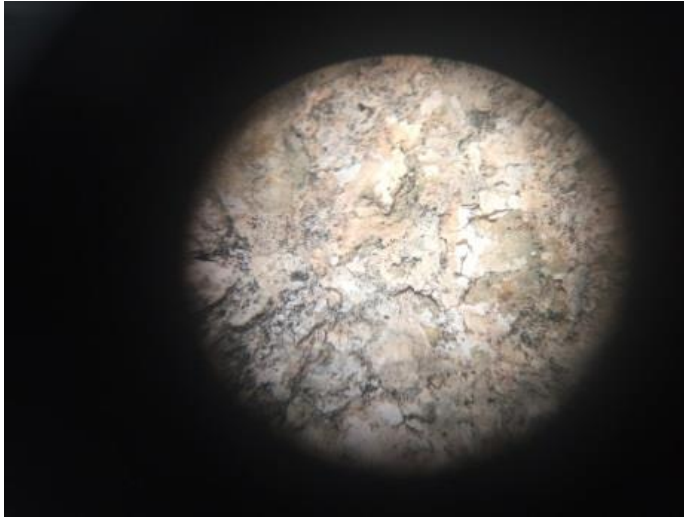
Tabla VIII. **Composición química de la roca**

<b>Elemento</b>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI (950 °C)
<b>%</b>	30.66	6.41	10.52	5.82	3.97	0.46	2.27	ND	37.62

Fuente: Cementos Progreso, Sociedad Anónima. Caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

Como resultado de los análisis, se puede observar que la roca es una andesita, lo cual concuerda con el resultado mostrado en el análisis realizado a la roca por el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM).

Figura 21. **Fragmento de roca visto en examen macroscópico de CETEC**



Fuente: Cementos Progreso, Sociedad Anónima. Caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

## **4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Resultados de laboratorio**

Para conocer las características de los materiales, se llevó a cabo en cada estrato o muestra los siguientes ensayos de laboratorio:

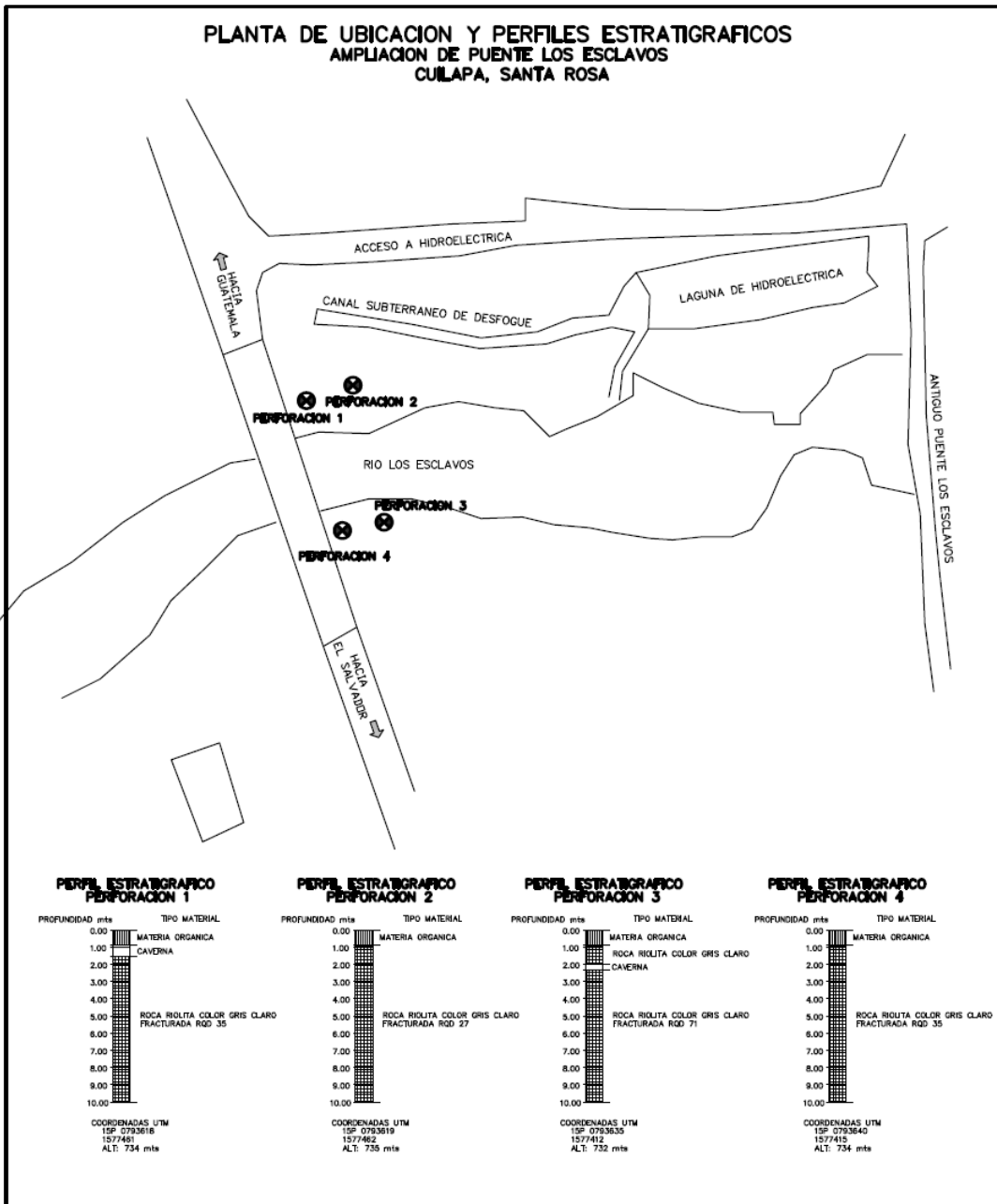
- Ensayo de carga puntual
- Densidad y humedad
- Examen visual
- Levantamiento en campo de discontinuidades

#### **4.1.1. Perforación con máquina rotativa**

Utilizando máquina rotativa, se extrajeron cuatro muestras, siendo estas dos en el estribo de entrada al puente y dos en el estribo de salida del puente, ambas en dirección al norte, aguas arriba del río.

En la figura 22 se muestra la planta de ubicación y perfiles estratigráficos del área de ampliación del puente Los Esclavos.

Figura 22. Planta de ubicación y perfiles estratigráficos, área de estudio



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa



Tabla IX. Resistencia de roca, prueba de carga puntual

MUESTRA No.	UBICACIÓN DE MUESTRA	FECHA EXTRACCIÓN	FECHA DE PRUEBA	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (lb/plg <sup>2</sup> )
1	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 1	06/08/2012	08/08/2012	3.50	8.10	0.21	2640.79	1686.75	21320.30
2	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 1	06/08/2012	08/08/2012	3.50	7.90	0.20	2578.71	2024.10	25584.36
3	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 1	06/08/2012	08/08/2012	3.50	5.50	0.14	2571.12	1799.20	22741.65
4	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 2	10/08/2012	12/08/2012	3.50	5.00	0.12	2545.41	2249.00	28427.07
5	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 2	10/08/2012	12/08/2012	3.50	5.60	0.14	2525.21	2473.90	31269.77
6	ESTRIBO ENTRADA PERFORACIÓN 2	10/08/2012	12/08/2012	3.50	4.90	0.13	2757.53	1686.75	21320.30
7	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 3	17/08/2012	19/08/2012	3.50	7.80	0.20	2598.44	1012.05	12792.18
8	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 3	17/08/2012	19/08/2012	3.50	4.90	0.12	2597.36	2698.80	34112.48
9	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 3	17/08/2012	19/08/2012	3.50	4.50	0.11	2540.70	1236.95	15634.89
10	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 4	28/08/2012	03/09/2012	3.50	6.50	0.16	2601.64	562.00	7103.61
11	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 4	28/08/2012	03/09/2012	3.50	6.60	0.17	2660.02	1124.00	14207.21
12	ESTRIBO SALIDA PERFORACIÓN 4	28/08/2012	03/09/2012	3.50	6.50	0.17	2673.92	1349.00	17051.18


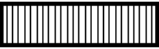
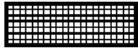

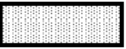
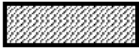


Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.



Figura 23. Registro de perforación 1


<b>REGISTRO DE PERFORACION 1</b>																			
PROYECTO: PUENTE LOS ESCLAVOS INTERESADO: NORTECH COTA: 734.00					UBICACION: CUILAPA, SANTA ROSA FECHA DE INICIO: 01/08/2012 FECHA DE FINALIZACION: 06/08/2012														
PROFUNDIDAD mts	MATERIAL	RECUPERACION cm	TIPO DE MUESTREADOR	DESCRIPCION DE MATERIAL	ROD	NIVEL DE AGUA	VALORES DE PENETRACION ESTANDAR - SPT												
							VALOR N	0	10	20	30	40	50						
1		38	C.B. NWG	CAVA DE 0.65 MTS	0.2														
2			C.B. NWG																
3		68	C.B. NWG		0.23														
4		76	C.B. NWG		0.36														
5		88	C.B. NWG		0.3														
6		75	C.B. NWG		0.45														
7		66	C.B. NWG		0.3														
8		59	C.B. NWG		0.223														
9		72	C.B. NWG		0.6														
10		78	C.B. NWG		0.5														
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			



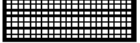





					
MAT. DE RELLENO	CAPA VEGETAL	MACIZO ROCA	ARCILLA	ARENA	LIMO
	Ing. Luis Leiva Avila				
CANTO RODADO					GRAVA

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 24. Registro de perforación 2











REGISTRO DE PERFORACION 2														
PROYECTO: PUENTE LOS ESCLAVOS				UBICACION: CUILAPA, SANTA ROSA										
INTERESADO: NORTECH				FECHA DE INICIO: 07/08/2012										
COTA: 735.00				FECHA DE FINALIZACION: 10/08/2012										
PROFUNDIDAD mts	MATERIAL	RECUPERACION cm	TIPO DE MUESTREADOR	DESCRIPCION DE MATERIAL	ROD	NIVEL DE AGUA	VALORES DE PENETRACION ESTANDAR - SPT							
							VALOR N	0	10	20	30	40	50	
1		36	C.B. NWG	CAPA VEGETAL Y MATERIA ORGANICA	0.17									
2		48	C.B. NWG		0.2									
3		77	C.B. NWG		0.45									
4		64	C.B. NWG		0.46									
5		66	C.B. NWG		0.1									
6		82	C.B. NWG		0									
7		95	C.B. NWG		0.18									
8		78	C.B. NWG		0									
9		71	C.B. NWG		0.57									
10		98	C.B. NWG		0.66									
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														









 MAT. DE RELLENO	 CAPA VEGETAL	 MACIZO ROCA	 ARCILLA	 ARENA	 LIMO
 CANTO RODADO	Ing. Luis Leiva Avila			 GRAVA	

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 25. Registro de perforación 3

REGISTRO DE PERFORACION 3																
PROYECTO: PUENTE LOS ESCLAVOS			UBICACION: CUILAPA, SANTA ROSA													
INTERESADO: NORTECH			FECHA DE INICIO: 13/08/2012													
COTA: 732.00			FECHA DE FINALIZACION: 17/08/2012													
PROFUNDIDAD mts	MATERIAL	RECUPERACION cm	TIPO DE MUESTREADOR	DESCRIPCION DE MATERIAL	ROD	NIVEL DE AGUA	VALORES DE PENETRACION ESTANDAR - SPT									
							VALOR N	0	10	20	30	40	50			
1		18	C.B. NWG	CAPA VEGETAL Y MATERIA ORGANICA												
2		84	C.B. NWG	ROCA TIPO RIOBITA COLOR GRIS CLARO, FRACTURADA	0.88											
3		86	C.B. NWG	CAVERNA DE 0.30 MTS	0.80											
4		93	C.B. NWG		0.84											
5		66	C.B. NWG		0.55											
6		90	C.B. NWG		0.80											
7		78	C.B. NWG		0.5											
8		66	C.B. NWG		0.53											
9		87	C.B. NWG		0.7											
10		93	C.B. NWG		0.9											
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

					
MAT. DE RELLENO	CAPA VEGETAL	MACIZO ROCA	ARCILLA	ARENA	LIMO
					
CANTO RODADO					GRAVA









Ing. Luis Leiva Avila

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 26. Registro de perforación 4

REGISTRO DE PERFORACION 4															
PROYECTO: PUENTE LOS ESCLAVOS INTERESADO: NORTECH COTA: 732.00				UBICACION: CUILAPA, SANTA ROSA FECHA DE INICIO: 27/08/2012 FECHA DE FINALIZACION: 31/08/2012											
PROFUNDIDAD mts	MATERIAL	RECUPERACION cm	TIPO DE MUESTREADOR	DESCRIPCION DE MATERIAL	ROD	NIVEL DE AGUA	VALORES DE PENETRACION ESTANDAR - SPT								
							VALOR N	0	10	20	30	40	50		
				CAPA VEGETAL Y MATERIA ORGANICA											
1		37	C.B. NWG		0.00										
2		96	C.B. NWG		0.07										
3		90	C.B. NWG		0.66										
4		88	C.B. NWG		0.1										
5		100	C.B. NWG		0.46										
6		90	C.B. NWG		0.12										
7		93	C.B. NWG		0.2										
8		100	C.B. NWG		1										
9		92	C.B. NWG		0.51										
10		96	C.B. NWG		0.4										
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

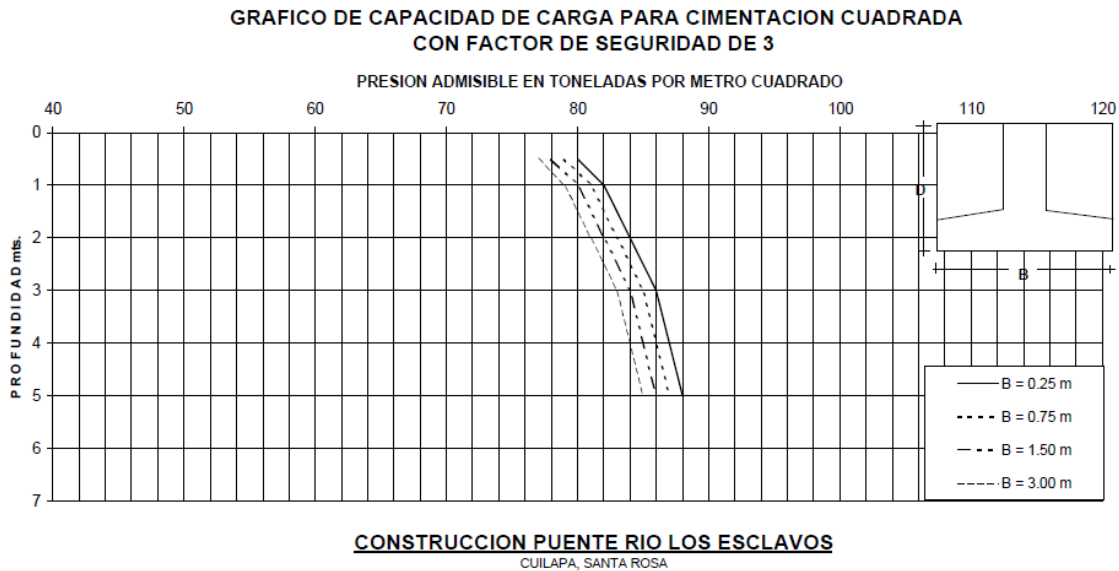
  

					
MAT. DE RELLENO	CAPA VEGETAL	MACIZO ROCA	ARCILLA	ARENA	LIMO
					
CANTO RODADO					GRAVA

Ing. Luis Leiva Avila

Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Figura 27. **Capacidad de carga para cimentación cuadrada**



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.

Tomando como base los resultados de los ensayos a las muestras, se puede indicar que para la perforación uno, la mejor calidad de roca se encuentra aproximadamente a seis (6.00) metros; para la perforación dos, está a cuatro (4.00) metros; para la perforación 3, se ubica a dos (2.00) metros; y para la perforación cuatro, está a dos (2.00) metros.

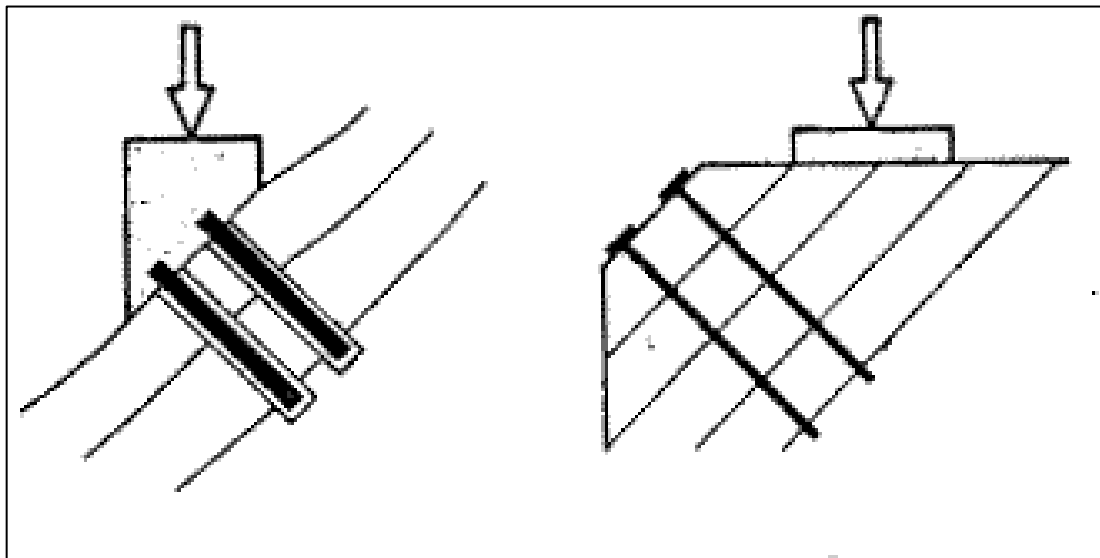
#### 4.2. **Propuesta de cimentación**

Según los resultados obtenidos del estudio de suelos y cimentaciones de la roca para cimentación, se podría proponer cimentar el nuevo puente a un mínimo de cinco (5.00) metros de la orilla y de un (1.00) metro a uno punto cincuenta (1.50) metros de profundidad dentro de la roca. Para que el puente

posea el soporte adecuado, a partir de dicha cota es recomendable construir anclajes de dos (2.00) metros de longitud como mínimo.

Esta propuesta resulta luego de analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizados al macizo rocoso. Se recomienda que sea a 5 metros de la orilla, ya que a esta distancia el macizo rocoso posee mejores características, siendo el mismo más sano. La propuesta que sea a un metro de profundidad, es para no causar daños al macizo rocoso al momento de realizar la perforación de un metro para construir la cimentación. Debido al proceso constructivo, si la profundidad fuera mayor, se corre el riesgo de causar mayor fracturamiento al macizo rocoso. Se recomienda colocar anclajes de, por lo menos dos (2.00) metros, para que haya una mejor transmisión de cargas del puente hacia el macizo rocoso.

Figura 28. **Esquema de propuesta de cimentación**



Fuente: *Cimentaciones en roca*. <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2012/03/cimentaciones-en-roca-capacidad.html>. Consulta: 24-11-2016.

Se debe tener presente que en ciertos lugares del macizo rocoso será necesaria la inyección de concreto u otro material que sea útil para rellenar grietas, impedir el paso de agua y servir de apoyo para la transmisión de cargas al macizo rocoso. Se propone una inyección de concreto con las siguientes características:

- Decantación menor al 5 %
- Viscosidad baja, con tiempo de cono menor a 32 segundos
- Cohesión relativa menor a 0.2 mm
- Finura del cemento mayor a 4.000 cm<sup>2</sup>/g

En campo se determinarán los ajustes que sean necesarios, y de esta forma lograr que la cimentación transmita las cargas al macizo rocoso.

Esta propuesta de cimentación resulta del análisis de las características del macizo rocoso, obtenido de las cuatro perforaciones efectuadas. Los análisis de laboratorio dieron como resultado que la roca sobre la cual se cimentará el nuevo puente es una roca sana, fisurada, resistente, en bloques grandes de uno (1.00) a dos punto cincuenta (2.50) metros de ancho, la cual presenta fisuras que varían de uno (1.00) a treinta y cinco (35.00) centímetros de espesor. También existe la presencia de rocas que se han desprendido del macizo rocoso, lo cual indica la probabilidad de que en algún momento las rocas expuestas puedan desprenderse, al ocurrir algún sismo de gran intensidad.

Otra propuesta de cimentación consiste en construir zapatas sobre la superficie libre de la roca. Debe evitarse profundizar en la roca para incrustar una zapata, ya que al hacer esto, se estaría debilitando la misma. Por tal razón, en este caso se propone construir la zapata lateralmente sobre la superficie de la

roca, y utilizar barras de acero ancladas en la roca por debajo del nivel de la zapata.

Esto es posible de proponer debido a que la roca posee las características mecánicas para soportar un puente construido con este tipo de cimentación.





## CONCLUSIONES

1. Al caracterizar física y geológicamente la roca para cimentación del nuevo puente “Los Esclavos”, inicialmente se clasificó visualmente la roca como una roca volcánica. Luego, al realizarle la caracterización petrográfica macroscópica en el CESEM; y los análisis de caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X en el CETEC; coincidieron en que la roca es una andesita, confirmando que es una roca de origen volcánico.
2. Es una roca sana con propiedades físicas, mecánicas y geológicas aptas para soportar las cargas que le transmitirá el puente, debido al tránsito vehicular y por su propio peso.
3. El grado de meteorización de la roca varía de uno (I) a dos (II), esto significa que se trata de una roca sana a ligeramente meteorizada. El espesor del suelo (capa vegetal) era de 0.50 m en el inicio de la perforación.
4. Debido a las características de la roca, se podría cimentar el nuevo puente construyendo zapatas superficialmente sobre la roca, sin dañar la estructura de la misma, así como colocar barras de acero que salgan de la zapata y sean ancladas a la roca, para transmitir las cargas del puente.
5. La capacidad de resistencia a la compresión en las muestras del estribo de entrada es de 21,000.00 psi, y en el estribo de salida de 12,700.00 psi. Estos valores indican que la roca es apta para cimentar un puente similar.

6. La parte más profunda de las muestras obtenidas de las perforaciones del macizo de macizo poseen grietas, lo cual la produce alta permeabilidad, que podría afectar la capacidad del macizo rocoso para soportar las cargas transmitidas por el puente.
  
7. Las familias de fracturas son principalmente discontinuidades formadas por enfriamiento de la colada de andesita, tanto en el plano vertical como en subhorizontal.

## RECOMENDACIONES

1. Mejorar las características del macizo por medio de la inyección de concreto para sellar las fisuras existentes, así como la construcción de anclajes con barras de acero para amarrar la roca entre sí y con el macizo rocoso.
2. Ser cuidadoso al construir la cimentación del nuevo puente, tomando en cuenta que se construirá como ampliación a la carretera CA-01 Oriente, ya que si se llega a dañar el macizo rocoso por una mala técnica constructiva, se pondría en riesgo la cimentación del puente existente.
3. Inspeccionar los sitios en donde se efectuaron las perforaciones, para verificar que no han sufrido cambios de estratigrafía con referencia al material analizado.
4. La estructura del nuevo puente que sea similar al existente, debido a que es una estructura eficiente y adecuada para las características del macizo rocoso.
5. Al construir la cimentación del nuevo puente, debe retirarse la parte superficial meteorizada de la roca, para mejorar la capacidad de transmisión de cargas de la estructura del puente hacia la roca.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Braja, D. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 5ta ed. México: Editorial Thomson.
2. \_\_\_\_\_. (2010). *Principios de ingeniería geotécnica*. 7ma ed. México: Cengage Learning.
3. Cassan, M. (1982). *Los ensayos "in situ" en la mecánica del suelo, volumen I*. España: Editores técnicos asociados, S. A.
4. Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.
5. González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Prentice-Hall.
6. Berganza, H. (1988). *Estudios geológicos para carreteras*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
7. Instituto Tecnológico Geominero de España. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Izquierdo, S. A.
8. Iriondo, M. (2007). *Introducción a la geología*. 3ra ed. Argentina: Brujas.

9. Izquierdo, F. (2001). *Cuestiones de geotécnica y cimentaciones*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
10. Juárez, B.; Rico, A. (1995). *Mecánica de suelos*. 3ra ed. México: Limusa.
11. Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (2004). *Ingeniería de cimentaciones*. México: Limusa.
12. Rico, A.; Del Castillo, H. (1999). *Ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas, volumen I*. México: Limusa.
13. Walter, H. (1962). *Petrología*. México: UTHEA.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Estado actual del macizo rocoso







Fuente: río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa

## Apéndice 2. **Área en estudio**



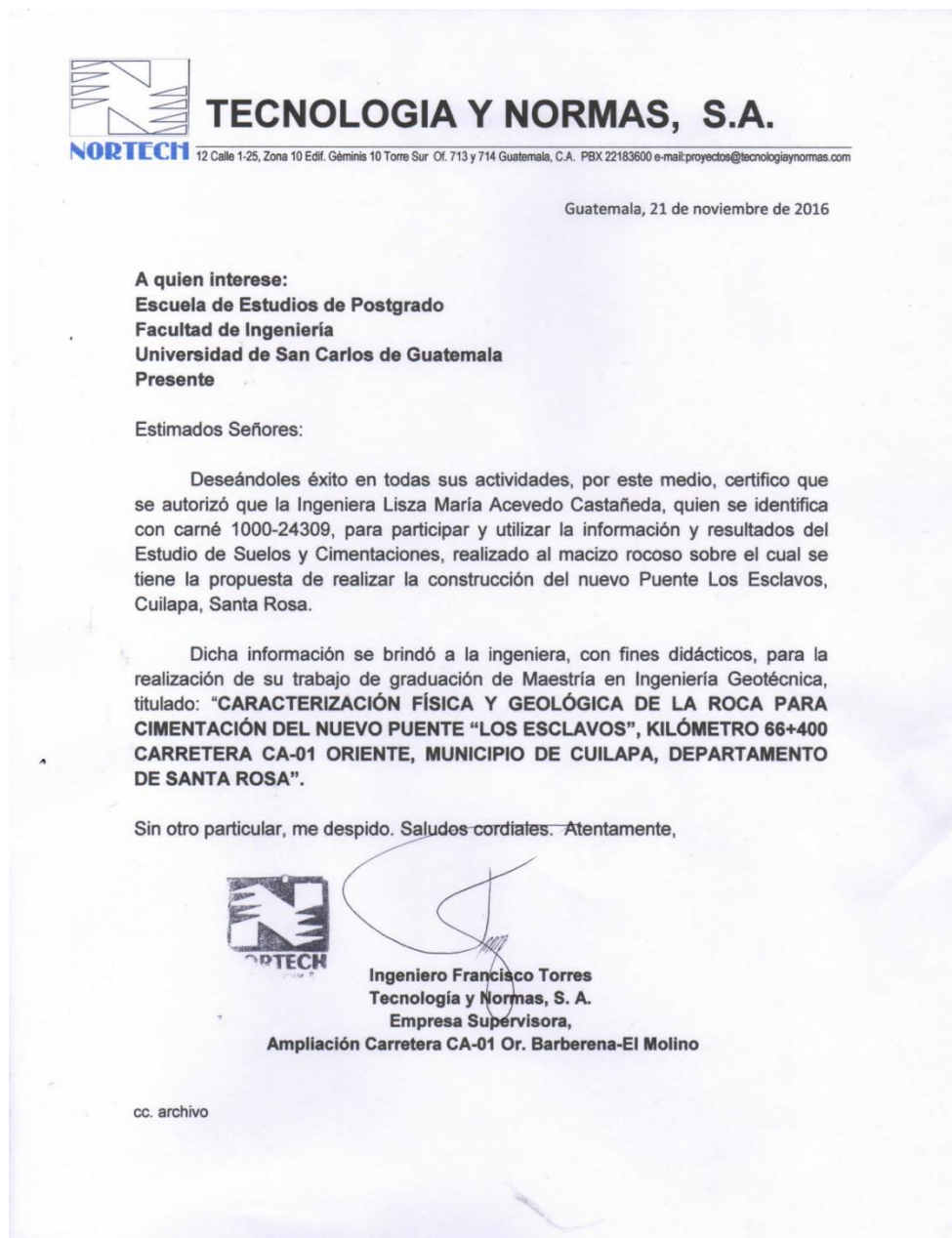


Fuente: río Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa



## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de autorización para utilizar informe del macizo rocoso





Anexo 2. **Perforación 1 (estribo de entrada) y muestra 1**



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa

Anexo 3. **Perforación 2 (estribo de entrada) y muestra 2**



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa

Anexo 4. **Perforación 3 (estribo de salida) y muestra 3**



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa




Anexo 5. **Perforación 4 (estribo de salida) y muestra 4**



Fuente: Suelos y Cimentaciones. Estudio de suelos y cimentaciones, ampliación de puente Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa



Anexo 6. **Caracterización petrográfica macroscópica realizada a muestra, CESEM**



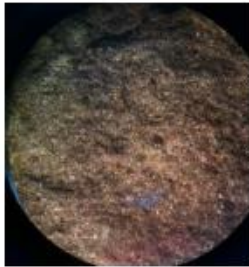
Guatemala, 29 de Septiembre 2015

Inga. Lisza Acevedo.  
Maestría en Ingeniería Geotécnica  
Presente.

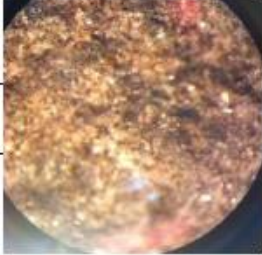
Por este medio me es grato saludarle y desearle éxitos en las actividades que realiza. Al mismo tiempo me permito presentarle el resultado del estudio de Caracterización Petrográfica Macroscópica de las muestras de roca, recibidas el día 25 de septiembre de 2015, con ubicación en el Puente Los Esclavos, Santa Rosa, Guatemala. A continuación los resultados de la misma.

**Muestra No 1.**

Nombre:	Andesita
Tipo:	Roca Ígnea
Textura:	Afanítica (fina)
Estructura:	Compacta
Color:	Pardo negruzco
Brillo:	No metálico
Transparencia:	Opaco
Composición mineralógica	Feldespato, Cuarzo, Homblenda y minerales accesorios.



Roca vista en el  
Microscopio  
Estereoscópico  
del CESEM



Respetuosamente

Sin otro particular, me suscribo  
***"Id y enseñad a todos"***

**JULIO R. LUNA AROCHE**  
DIRECTOR-CESEM  
CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS

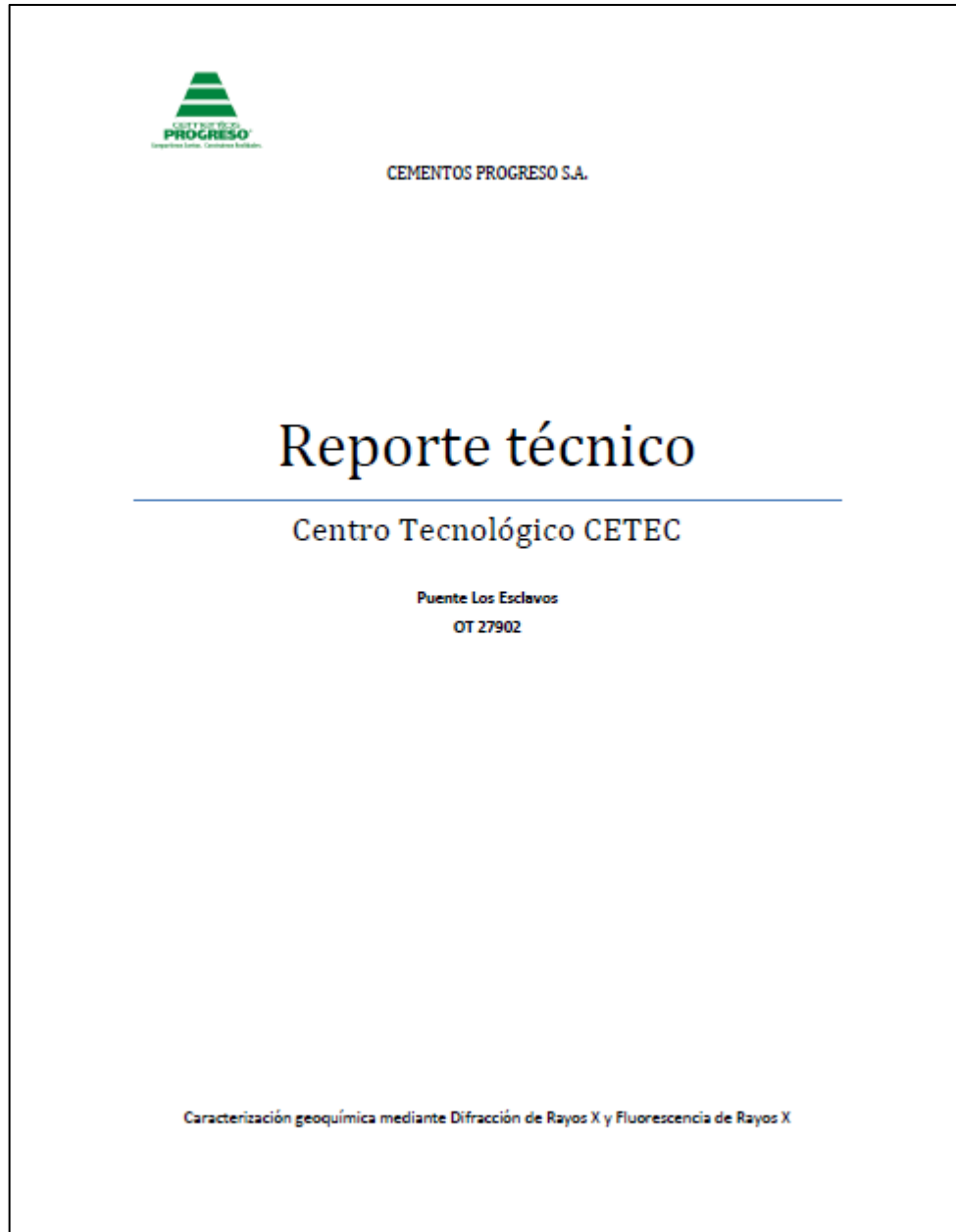
---

Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas  
CESEM, Facultad de Ingeniería, USAC  
Ciudad universitaria, zona 12, Edificio T1, of. 1  
Tel. 502-24189139

1

Fuente: CESEM. Estudio de caracterización petrográfica macroscópica realizada a muestra.

Anexo 7. **Reporte técnico de la caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X, CEMPRO**





**Reporte de examen estereoscópico**

Fecha de ensayo: 07/04/2016

CETEC OT No. 27902

Examen estereoscópico de una muestra, designada como "Roca Puente Los Esclavos" (Fig. 1)

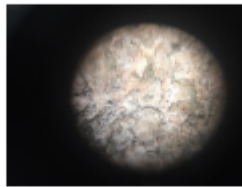


Fig. 1 Fragmento muestra "Roca Puente Los Esclavos".

**Hallazgos Muestra "Roca Puente Los Esclavos":**

La muestra se pulverizó y se analizó mediante la técnica Difracción de Rayos X. Se determinó la presencia de las fases minerales andesita, clinopiroxeno y olivina (Ver informe en Anexo I)

**Fases Minerales:**

Fase Mineral	Fórmula	Concentración en % p/p
Andesita	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	73.50%
Clinopiroxeno	$(\text{Ca,Mg,Fe,Na})(\text{SiO}_4)$	13.20%
Olivina	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	13.20%

**Composición química:**

	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI (950 °C)
%	30.66	6.41	10.52	5.82	3.97	0.46	2.27	ND	37.62

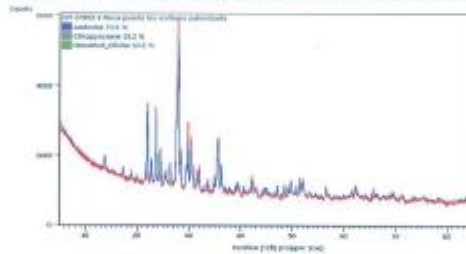


**Anexo I**

**Informes de laboratorio**

 <b>CENTRO TECNOLÓGICO PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> <small>Carretera 144C, entre 144B y 144D</small> <small>Tel. 099959 754 000001 correo@progreso.net</small>		<b>BY</b> 2700 <b>PROG</b> 01/04/2011 <b>PROG</b> 1740
<b>CLIENTE</b> CENTRO DE CHOCOFITO		<b>PROYECTO</b> BIODIESEL
<b>UBICACIÓN</b> CARRETERA 144C ENTRE 144B Y 144D		<b>CLIENTE</b> BIODIESEL LAS ESCALAS
<b>FECHA</b> 01/04/2011		<b>FECHA DE EMISIÓN</b> 01/04/2011

**INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÉMICO**  
**DIFRACCIÓN DE RAYOS X**



Área Normalizada	Fórmula	Concentración en % p/p
Amorfo	PRICAPOLIN®	13.30%
Chaparrón	CHAPARRÓN®	13.30%
Etanol	CHAPARRÓN®	13.30%

La identificación de los fases minerales se realizó mediante la técnica analítica de Difracción de rayos X con el software "Powder" en un equipo Bruker de 40kV, la identificación de las fases orgánicas se realizó en el laboratorio de química orgánica del instituto con el uso de un espectrómetro de RMN de <sup>13</sup>C-CDCl<sub>3</sub>, con una dosis de 4 minutos por muestra.

Observaciones: Se debe considerar en el análisis de la Difracción de Rayos X que los resultados dependen de cómo se preparen "muestras" (muestras homogéneas)

ANALISTA: 

AUTORIZADO POR: 

Los resultados de este informe deben ser utilizados únicamente para fines científicos y no deben ser usados para fines legales y con la excepción del 0.01%.



 <b>CEMENTOS PROGRESO S.A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> Vía 94, 941, Avenida Nueva Tel: 226477 Fax: 226477   <a href="mailto:laboratorio@progreso.com">laboratorio@progreso.com</a>		DT: 1702 MON: 226477 FAX: 226477 MÓVIL: 99	
Nombre	ORDEN 011-01/2012	Provincia	PUERTO RICO
Estado/Tiempo	54% 90% 20% 10% 10% 10% 10% 10%	Fecha	AGOSTO 2012
Código	001-000000	Antes	001-000000
Proyecto	ORDEN 011-01/2012	Fecha Base	2012/07

**INFORME DE ENSAYO**

**ANÁLISIS QUÍMICO**

RESISTENCIA FLUORESCENCIA DE RAYOS X

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)													
Moeda	MO	SI	AL	FE	CA	Mg	SO	CL	Na	K	Ti	Zn	OTROS
RESISTENCIA FLUORESCENCIA DE RAYOS X	54.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

\*Tomado de la especificación técnica.

  
 \_\_\_\_\_  
 ANALISTA

  
 \_\_\_\_\_  
 JEFE LABORATORIO

ESTE INFORME ES LA ÚNICA REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE CEMENTOS PROGRESO S.A. Y NO DEBE SER USADO PARA OTROS FINESES.

01/12/2012

Fuente: Cementos Progreso, Sociedad Anónima. Caracterización geoquímica mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.