



INFORME DE GEOTECNIA

OBRA N° 2449

PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTE
VEHICULAR A DOS CARRILES Y PASO PEATONAL
SOBRE QUEBRADA CARAÑA

SANTA ANA, SAN JOSE

CONSECUTIVO: INF-GEO-077-2022

DICIEMBRE, 2022

DATOS GEOTÉCNICOS DE CAPACIDAD SOPORTANTE O DE CIMENTACION PARA LA OBRA CIVIL

PROYECTO: Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña

LOCALIZACIÓN: Provincia: San José Cantón: Santa Ana Distrito: Piedades
DESARROLLADOR: Municipalidad de Santa Ana

PROFESIONAL QUE ELABORA EL ESTUDIO

Nombre del profesional: Ing. Alicia Alpizar Barquero M.Sc.
Número de cédula: 1-1094-0356 **Número de colegiado:** IC-16753
Registro SETENA: CI-203-12 **Vigencia:** 09 octubre 2025

DOCUMENTO DE CONTROL DE CAMBIOS

| Letra | Fecha | Ítem modificado | Aprobado por |
|-------|-------|-----------------|--------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

DATOS GEOTÉCNICOS DE CAPACIDAD SOPORTANTE O DE CIMENTACION PARA LA OBRA CIVIL

3

PROYECTO: Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña

LOCALIZACIÓN: Provincia: San José Cantón: Santa Ana Distrito: Piedades
DESARROLLADOR: Municipalidad de Santa Ana

PROFESIONAL QUE ELABORA EL ESTUDIO

Nombre del profesional: Ing. Alicia Alpízar Barquero M.Sc.
Número de cédula: 1-1094-0356 **Número de colegiado:** IC-16753
Registro SETENA: CI-203-12 **Vigencia:** 09 octubre 2025

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

La suscrita Ing. Alicia Alpízar Barquero, M. Sc, portadora de la cédula de identidad número 1-1094-0356 profesional en Ingeniería Civil, manifiesto ser responsable directa de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña que se desarrollará sobre la Calle Canelos.

En virtud de ello, someto los Datos Geotécnicos de Capacidad de Soporte o de Cimentación para la Obra Civil, al conocimiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad en materia de Evaluación de Impacto Ambiental del Estado costarricense, con el objetivo que sean analizados y se constate que los mismos han cumplido con los lineamientos técnicos y normativos establecidos. Tengo presente que en apego al artículo 5 del Decreto Ejecutivo 32712-MINAE, la información contenida de estos datos, se presenta bajo el concepto de Declaración Jurada y a conocimiento y conciencia de que dicha información es actual y verdadera y que en caso contrario pueden derivarse consecuencias penales del hecho. Por lo cual, manifiesto que, de encontrarse alguna irregularidad en la información, seré responsable no sólo por esta falta, sino también por las consecuencias de decisión que a partir de la información suministrada pudiera incurrir la SETENA y el desarrollador.

Atentamente.

Ing. Alicia Alpízar Barquero

Fecha de emisión: diciembre 2022

Tabla de contenido

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | RESUMEN: | 6 |
| 1.1 | RESUMEN DE RESULTADOS | 6 |
| 1.2 | RESUMEN DE CONCLUSIONES TÉCNICAS | 6 |
| 2 | INTRODUCCIÓN: | 6 |
| 2.1 | DATOS DEL TERRENO | 6 |
| 2.2 | DESCRIPCIÓN DEL SITIO | 7 |
| 2.3 | COORDINACION PROFESIONAL | 7 |
| 2.4 | OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 8 |
| 2.4.1 | OBJETIVO GENERAL | 8 |
| 2.4.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 2.5 | METODOLOGÍA APLICADA | 8 |
| 3 | TRABAJOS REALIZADOS | 9 |
| 3.1 | SONDEOS Y EXPLORACIÓN | 9 |
| 3.1.1 | UBICACIÓN DE LOS SONDEOS | 9 |
| 3.1.2 | PERFORACIÓN DE SUELO EN SECO (PSS) | 10 |
| 3.1.3 | REFRACCIÓN SÍSMICA | 12 |
| 3.2 | ENSAYOS | 12 |
| 3.2.1 | ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) | 12 |
| 3.2.2 | ENSAYOS DE LABORATORIO | 14 |
| 3.3 | CORRELACION E INTERACCIÓN CON DATOS DE GEOLOGÍA DEL TERRENO | 14 |
| 3.3.1 | RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO | 16 |
| 4 | RESULTADOS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS | 31 |
| 4.1 | DATOS DE ENSAYOS | 32 |
| 4.1.1 | ENSAYOS EN SONDEOS | 32 |
| 4.1.2 | RESULTADOS INVESTIGACION GEOFÍSICA | 32 |
| 4.2 | PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO | 33 |
| 4.2.1 | CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS MUESTRAS | 33 |
| 4.3 | CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS S.U.C.S. | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.1 | DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO | 34 |
| 4.3.2 | PERFIL GEOTÉCNICO | 35 |
| 4.3.3 | PATOLOGÍAS GEOTÉCNICAS | 36 |
| 5 | EVALUACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GEOTECNICAS..... | 36 |
| 5.1 | CAPACIDAD SOPORTANTE Y DE CIMENTACIÓN | 36 |
| 5.1.1 | CAPACIDAD SOPORTANTE EN ESTRUCTURAS | 36 |
| 5.2 | ASENTAMIENTOS..... | 37 |
| 5.3 | DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA | 37 |
| 5.4 | CONCLUSIONES SOBRE CIMENTACIONES PARA LAS OBRAS | 39 |
| 5.4.1 | CIMENTACIONES SUPERFICIALES..... | 39 |
| 5.5 | EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES | 40 |
| 5.5.1 | PRESION LATERAL DE TIERRAS Y ADHERENCIA PLACA - SUELO | 40 |
| 5.5.2 | CORTES TEMPORALES Y/O PERMANENTES | 41 |
| 5.5.3 | RELLENOS | 41 |
| 5.6 | CONCLUSIONES GEOTÉCNICAS: | 42 |
| 6 | DISCUSIÓN SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO: | 42 |
| 6.1 | APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS | 42 |
| 6.2 | INCERTIDUMBRES NO RESUELTAS | 42 |
| 6.3 | CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD GEOTÉCNICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR. | 43 |
| 7 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | 43 |
| 8 | ANEXOS: | 45 |

1 RESUMEN:

1.1 RESUMEN DE RESULTADOS

Los trabajos solicitados consistieron en la exploración geológica-geotécnica del sitio, con la realización de 1 sondeo de exploración hasta 20,0 m de profundidad. En el sondeo se realizaron ensayos SPT (ASTM D 1586) y extracción de muestras mediante rotación para la realización de los ensayos de laboratorio. Además, se realizó un reconocimiento geológico en campo y ensayos geofísicos.

La investigación realizada permitió caracterizar desde el punto de vista geotécnico la zona de estudio. En sitio se detectaron dos capas geotécnicas conformadas por arcilla y roca.

En el sitio de exploración se detectó nivel freático a 1,80 m de profundidad; se debe aclarar que esta condición puede variar de acuerdo con la estación del año. En cuanto al espesor de material orgánico, no se detectaron espesores, pero si 0,60 m que corresponde a asfalto y lastre.

1.2 RESUMEN DE CONCLUSIONES TÉCNICAS

El terreno está conformado por 1 capa producto de depósitos aluviales que tiene como efecto suelos de consistencias entre bajas a medias en los primeros 2 m de la margen izquierda.

En el sitio de exploración se detectó nivel freático estacionario a 1,80m de profundidad, se debe aclarar que esta condición puede variar de acuerdo a la estación del año.

La cimentación podrá realizarse por cimentación superficial, con desplante en los primeros 2,00m y una capacidad de soporte admisible de hasta 300 ton/m² emplazada directamente sobre la roca.

Los asentamientos **NO** requieren ser considerados como elemento determinante en el diseño de las estructuras, ya que en general se recomienda la cimentación sobre el estrato rocoso no deformable.

2 INTRODUCCIÓN:

2.1 DATOS DEL TERRENO

La estructura en análisis se ubica en el Distrito Piedades, Cantón Santa Ana, Provincia San José entre las coordenadas 477 500 m y 478 500 m Oeste y 1 098 000 m y 1 099 000 m Norte según la proyección CRTM-05, en la hoja cartográfica Abra 1:50000.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El proyecto consiste en la ejecución de estudios preliminares para el diseño y construcción de una alcantarilla que reemplace la existente en el sitio, con el objetivo de dar un mejor servicio a la comunidad de usuarios de los caminos del cantón de Santa Ana. La alcantarilla se localiza sobre la Quebrada Caraña, en la calle Canelos.

7



Figura 1: Ubicación de estructura

2.3 COORDINACION PROFESIONAL

Atendiendo la solicitud de la empresa Ingeniería Técnica de Proyectos (ITP) se procedió a realizar un estudio geotécnico el día 03 de diciembre del 2022. En el lugar se proyecta construir una estructura tipo alcantarilla para reemplazar la actual y mejorar el flujo vehicular de la zona y eliminar los problemas de inundación.

Durante el estudio geotécnico se realizaron ensayos de campo y de laboratorio según los lineamientos solicitados en la licitación abreviada del presente proyecto, el Código de Cimentaciones de Costa Rica, el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes (CR-2010), Lineamientos para el Diseño Sismoresistente de Puentes y según los lineamientos solicitados en el anexo 5, sección II del “Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” y el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

2.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de la investigación ejecutada fue determinar las características y parámetros geotécnicos principales y las condiciones generales de cimentación, mediante los ensayos de campo y laboratorio.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El trabajo considera específicamente la ejecución de:

- Perforaciones de rotación con extracción de muestras y ensayos SPT
- Ensayos de laboratorio
- Análisis de resultados
- Recomendaciones para cimentación

El presente documento muestra todos los procedimientos, herramientas y técnicas empleadas por el personal de la empresa IIG en la ejecución de la Campaña de Exploración Geológico – Geotécnica solicitada para la identificación preliminar y base del perfil geotécnico que posee el proyecto Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles con paso peatonal sobre Quebrada Caraña y la definición preliminar de la cimentación requerida para las estructuras y rellenos de acercamiento de este.

2.5 METODOLOGÍA APLICADA

Para realizar el estudio y determinar las características y parámetros geotécnicos se emplearon las normas internacionales **ASTM D1586** (Ensayo de Penetración Estándar SPT), **ASTM D2216** (Determinación del contenido de humedad), **ASTM D2487** (Clasificación unificada de suelos según SUCS), **ASTM D2166** (Compresión inconfiada de suelos), **ASTM D6913** (Análisis granulométrico) y ASTM D7012 (Compresión inconfiada en núcleos de roca). Además, se realizó un perfil de refracción sísmica siguiendo el procedimiento de la norma **ASTM D5777**.

El presente estudio se realizó cumpliendo con las normas establecidas de acuerdo con el Código de Cimentaciones de Costa Rica y se han empleado las normativas vigentes de acuerdo a las técnicas solicitadas, tanto de campo como de laboratorio.

3 TRABAJOS REALIZADOS

3.1 SONDEOS Y EXPLORACIÓN

Para la caracterización geotécnica de las diferentes litologías que representan el sustrato del perfil se ha procedido a la realización de una Campaña Geotécnica de Investigación. Toda la información y análisis de estos trabajos se incluye en los apartados correspondientes.

La propuesta de reconocimientos ejecutada contempló:

- La ejecución de **1 sondeo de 20 metros**, con recuperación continua.
- En los sondeos se ejecutaron **ensayos de penetración SPT**.
- La **recuperación de testigos y muestras representativas** se realiza de forma continua y con la **intercalación de herramientas** que permiten la **preservación de la muestra** según el tipo de material perforado; así como el cambio de técnicas de perforación desde perforación en seco hasta perforación con inyección de agua controlada.
 - Los sondeos se realizaron con tubería de perforación de 86 mm y 98 mm de diámetro, y tubería de entubación de 113 mm, permitiendo la **obtención de testigos de 60 mm a 70 mm a lo largo de todo el sondeo**.
 - Las maniobras consideraron el uso de **coronas de perforación de diversos tipos**, así como el uso de **muestreadores de pared gruesa, y tomamuestras convencionales**. Todos en función del tipo de suelo y tipo de muestra que se requirió extraer en el momento del sondeo.
 - El perfil completo fue de suelos arcillosos y arenosos y se obtuvo un **testigo continuo, con 100% de testificación**.
 - Las muestras de suelos fueron preservadas desde el momento de su recuperación según el tipo de muestra: **cajas de perforación protegidas, plastificadas, parafinadas en cajas, entubadas con sello de parafina**.
 - Los **avances** fueron de **0,6 m a 1,20 m**.

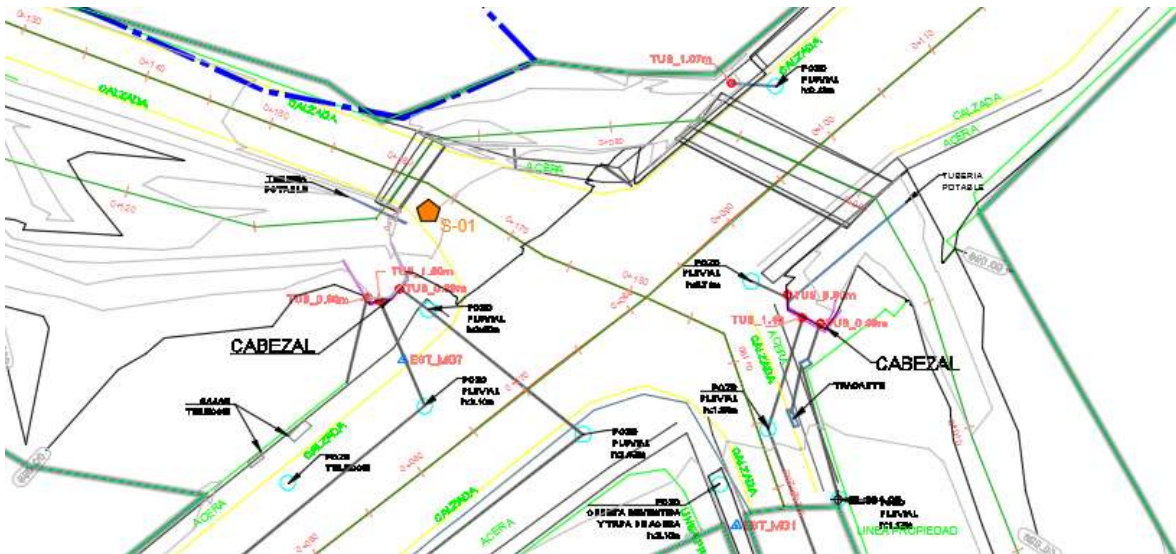
3.1.1 UBICACIÓN DE LOS SONDEOS

La exploración geotécnica del sitio se efectuó mediante 1 perforación suelo en seco (PSS) identificados con la letra (S). La tabla 1 muestra las profundidades alcanzadas en las exploraciones.

Tabla 1: Profundidad alcanzada en las exploraciones geotécnicas

| Exploración | Profundidad alcanzada (m) |
|-------------|---------------------------|
| S-01 | 20,00 |

La ubicación de las exploraciones dentro del plano del sitio se observa en el esquema 1 y Anexo 1.



Esquema 1: Ubicación de las exploraciones

La ubicación de las perforaciones se muestra en la siguiente tabla indicando las coordenadas CRTM05 y elevación respecto al nivel del mar.

Tabla 2: Ubicación de las exploraciones geotécnicas

| Exploración | Coordenadas CRTM 05 (m) | | Elevación (m.s.n.m.) |
|-------------|-------------------------|--------------|----------------------|
| S-01 | 477 533,00 | 1 097 987,86 | 889,40 |

3.1.2 PERFORACIÓN DE SUELO EN SECO (PSS)

Para la ejecución de los sondeos se utilizó maquinaria de perforación suelo en seco con equipo automático para la realización de ensayos SPT y toma de muestras inalteradas, de acuerdo con la acreditación "GTC". Operada por el Perforador Jorge Vega Domínguez y sus ayudantes.

Durante el proceso se anotó cualquier anomalía en el sondeo como, por ejemplo:

- Pérdida súbita de agua;
- Cambio de coloración del agua;
- Mayor o menor rapidez en el avance, caída brusca de batería, etc.,
- Desgastes anormales de brocas, etc.

El sistema empleado permitió perforar todo el sondeo en seco, consiguiendo con esto una mejor preservación de las muestras y mayor representatividad del perfil geológico – geotécnico.

Para el control de todo el avance, se contó con herramientas de control y medición tales como:

- Sonda de nivel freático

El proceso de control del sondeo consideró:

- Medición de nivel freático al inicio y final de la jornada, y al aparecer condiciones especiales de avance en la ejecución de pruebas de campo en sondeo.
- Medición de la ubicación de fondo del sondeo previo a cada prueba de SPT para verificar la limpieza del sondeo y el aseguramiento de ejecución del mismo.
- Las perforaciones en seco permitieron trabajar de forma “limpia” el avance del sondeo, sin introducir agentes desestabilizadores.

Para todo el trabajo, se utilizó una sola corona de perforación tanto para el barril como para la tubería de encamisado, por lo que no se registra desgaste por dureza o resistencia del material.

En el anexo se presentan los Registros de Perforación, ambos complementados para obtener esta información:

- Maquinaria utilizada en la perforación y útiles empleados tanto en la realización de sondeos mecánicos como en la toma de muestras inalteradas;
- Fecha de inicio y final de la ejecución del sondeo;
- Nombre del supervisor del sondeo;
- Diámetro de la batería y forma de ejecución;
- Columna stratigráfica, con los siguientes datos:
 - Descripción detallada de los materiales perforados y las singularidades encontradas;
 - Croquis o bosquejo a detalle, en general de cada tramo de testigo fresco, describiendo claramente:
 - Las características visuales del testigo;
 - Las cotas de este;
 - Las partes donde se han tomado porciones para su ensayo en el laboratorio (MR);

- Profundidad de extracción y tipo de muestras inalteradas (MI) y número de golpes, en su caso;
- Valores de N en el ensayo S.P.T.;
- Nivel freático;
- Porcentaje de recuperación del testigo;

3.1.3 REFRACCIÓN SÍSMICA

La refracción sísmica fue ejecutada siguiendo el procedimiento presentado en la norma ASTM D5777 y el método sugerido por la ISRM (2004).

En ensayo consiste en generar de manera artificial ondas sísmicas que se transmiten a través de las distintas capas, de manera que una serie de receptores o geófonos son ubicados en la superficie de manera colineal, estableciéndose un registro de arribos de ondas refractadas a lo largo del perfil estudiado.

Para este proyecto fue prospectado un perfil de 55 m cada uno en el área de interés. En el estudio se utilizaron perfiles compuestos por 12 geófonos de 4,5 Hz, con una separación de 5m. Fueron utilizados 3 puntos de disparo por perfil, ubicados entre los geófonos 1-2, 6-7 y 11-12.

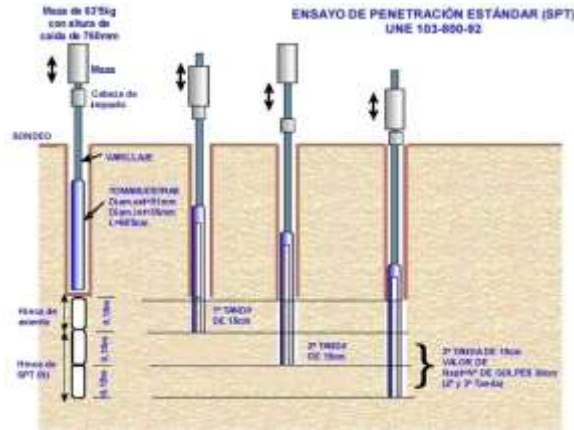
En el Anexo 4 se adjunta el informe con el estudio geofísico.

3.2 ENSAYOS

En la visita realizada al sitio se realizaron ensayos SPT dentro de las perforaciones suelo en seco.

3.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

El método SPT consiste en hincar una tubería con tomamuestras (diámetro exterior de 51 mm e interior de 35 mm) 60 cm en el terreno, contando el número de golpes necesarios para hincar cuatro tramos de 15 cm cada uno. La hinca se realiza mediante una maza de 63,5 kg que cae una altura de 760 mm sobre una cabeza de golpeo. El esquema 2 muestra el ensayo SPT.



Esquema 2: Ensayo de SPT dentro de la perforación de suelo en seco

En total se registran los golpes de cada tramo; de los cuales, las lecturas del primero y el último no son tomadas en cuenta, por posible alteración del suelo y derrumbes, mientras que los valores de golpeo de los tramos II y III, se suman para obtener el parámetro NSPT.

La prueba se detiene antes de los 60 cm, únicamente cuando el terreno es muy resistente y se alcanza el Rebote del Mazo (RM). El RM se considera cuando se alcanza una de las siguientes condiciones:

- Se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 15 cm.
- Se haya aplicado un total de 100 golpes.
- No se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
- El muestreador avance 45 cm completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritos en los incisos a), b y c) anteriores.

El sistema de golpeo empleado en las perforaciones suelo en seco, para el ensayo de SPT, corresponde a un sistema de golpeo y conteo automático.

3.2.1.1 TOMA DE MUESTRAS

Para este proceso se dispuso de los mecanismos adecuados para cada tipo de suelos (pared delgada, Shelby, etc) y determinación. Se aplicó su utilización asegurando la obtención de una muestra representativa de cada estrato de suelo detectado.

El muestreador siempre fue sellado mediante el plastificado y encintado que aseguran la conservación de la humedad de la muestra durante varias semanas.

En el parte de campo del sondeo se indicó siempre la abreviatura del tipo de muestra, la profundidad a la que empieza la muestra, la longitud recuperada, el diámetro interior del muestreador y el golpeo necesario para la toma de la muestra.

El transporte de las muestras representativas (MR) y de las inalteradas (MI) al laboratorio se realizó de forma que se evitara cualquier deterioro y fueron remitidas al laboratorio antes de una semana desde su extracción, almacenándose mientras tanto, en un lugar convenientemente protegido de las inclemencias del tiempo.



Fotografía 1: Muestras de sondeo S-01 caja 1



Fotografía 2: Muestras de sondeo S-01 caja 4

3.2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

La ejecución de ensayos de laboratorio se realizó bajo la supervisión y control de personal capacitado para el manejo de laboratorios, y manejo de muestras debidamente conservadas para su eventual reconocimiento o análisis complementario. Esto fue de aplicación tanto al testigo de perforación, que se mantendrá en la caja, como a las muestras inalteradas, completas o fracciones no ensayadas. En los anexos, se incluyen los registros de laboratorio.

3.3 CORRELACION E INTERACCIÓN CON DATOS DE GEOLOGÍA DEL TERRENO

El perfil geológico muestra que el terreno está conformado por un depósito de Ignimbritas. De forma general se establece el siguiente criterio:

“En casos de rocas muy débiles ($q_u < 1$ MPa) o que estén fuertemente diaclasadas ($RQD < 10\%$) o que estén bastante o muy meteorizadas (grado de meteorización igual o mayor que IV, según la

tabla 3), se recomienda considerar la roca como si se tratase de un suelo y recurrir a los procedimientos de verificación correspondientes que se indican en esta Guía.”¹

Tabla 3: Escala de meteorización de la roca, ISRM (Tabla 3.3 Guía de Cimentaciones de Obras de Carreteras)

| GRADO | DENOMINACIÓN | CRITERIO DE RECONOCIMIENTO |
|-------|------------------------------------|--|
| I | Roca sana o fresca | La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad. |
| II | Roca ligeramente meteorizada | La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. Toda la roca ha podido perder su color debido a la meteorización y superficialmente ser más débil que la roca sana. |
| III | Roca moderadamente meteorizada | Menos de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma continua o en zonas aisladas. |
| IV | Roca meteorizada a muy meteorizada | Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua. |
| V | Roca completamente meteorizada | Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta. |
| VI | Suelo residual | La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece «in situ» y existe un cambio de volumen importante. |

A partir de la definición anterior, se establece que el análisis de capacidad de soporte se hará considerando cimentaciones superficiales sobre basamento rocoso donde, se puede determinar una presión admisible a partir de los datos siguientes:

- Resistencia a compresión simple de la roca sana, q_u .
- Tipo de roca.
- Grado de alteración medio.
- Valor del RQD y separaciones de las litoclasas.

Y se tomarán como parámetros representativos del comportamiento del volumen de roca situado bajo la cimentación, de los que se obtuvieron hasta una profundidad de $1,5 B^*$, medida desde su plano de apoyo. Y considerando que no se conoce aún el diseño final, se establece como referencia una B de 5m.

¹ Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, Pag 91

3.3.1 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO

3.3.1.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Autores como Castillo & Krushensky (1977), Mora (1985), Denyer & Arias (1990), Denyer & Arias (1991), Pérez (2000) y Pérez et al. (2006) han realizado cartografías a nivel regional que incluyen la zona de estudios. Los mapas resultantes se han publicado a escalas mayores a 1:50 000 y fueron tomados en el presente trabajo para la descripción del marco geológico regional.

Como resultado se describen dos unidades regionales compuestas por ignimbritas de la Formación Tiribí y Abanicos Coluvio Aluviales.

3.3.1.1.1 FORMACIÓN TIBIRÍ

Castillo & Krushensky (1977) describen una unidad de toba de corriente de piroclásticos, la parte superior es una zona de fase de vapor que consiste de una toba no soldada parcialmente soldada, gris claro a gris, desvitrificada, con abundantes fragmentos de pómez verde claro a amarillo pardo, fragmentos líticos accidentales esparcidos, fenocristales esparcidos de plagioclasa y augita; la parte inferior es una toba desvitrificada, densamente soldada, gris azulada, abundantes fragmentos de pómez parcial o complemente colapsados.

Denyer & Arias (1991) la describen como depósitos de caída en la base de hasta 3 m de espesor. Seguido por flujos de ceniza, lapilli y bloques. Ignimbritas grises con fiammes de obsidiana y pómez (mm-cm). Depósitos de caída coronan la secuencia. En la base se observó la presencia de delgados episodios aluviales. El espesor de la secuencia no supera los 150 m.

Pérez (2000) propone formalmente la Formación Ignimbritas Río Tiribí y la divide en 4 litofacies con base en sus características litológicas, producto de diferencias en el grado de soldadura, compactación y porcentaje de constituyentes:

1. **Tipo Valle Central:** Presenta las mayores variaciones en cuanto a textura, grado de soldadura, compactación y porcentaje de componentes. Por un lado, se encuentran rocas no soldadas y no compactadas y, por otra parte, rocas muy soldadas ricas en fiammes, además de todos los estados intermedios.
2. **Tipo Puente de Piedra:** Se disponen en columnas de enfriamiento no muy grandes, pobremente prismáticas y algunas subredondeadas, sin un orden preferencial, hasta con forma de abanico, que muchas veces no son perpendiculares a las superficies de enfriamiento. Se caracteriza por una ignimbrita negra vidriosa, de brillo graso, con fiammes pequeños y escasos fragmentos preexistentes.
3. **Tipo La Garita: Se divide en 3 unidades:**

- a) Unidad inferior: está conformada por un 15-20% de escorias negras, 5% de escorias café redondeadas y menos vesiculares, además de escorias grises y bandeadas, y difiere de la unidad superior por un aparente menor contenido de pómez ($\leq 1\%$).
 - b) Unidad intermedia: formado por procesos de fluidización, enriquecido en fragmentos y con abundantes estructuras de desgasificación.
 - c) Unidad superior: el contenido de pómez es de unos 5-8%, líticos de 1-10% y en algunos casos también hay un aumento del porcentaje de escorias negras (20-25%).
4. **Tipo Orotina:** Ignimbritas color gris celeste, con fiammes de obsidiana, bombas escoriáceas negras de pequeño tamaño y pómez amarillentas alargadas, en una matriz fina tobácea con plagioclasa y piroxenos. Es muy frecuente la disyunción columnar. Por lo general, hacia arriba disminuye el porcentaje de pómez, fiammes y bombas escoriáceas, los líticos son muy escasos a ausentes y de tamaños pequeños.

Pérez et al. (2006) describen dos facies principales:

- Facies tipo Valle Central: corresponde con un *plateau*, que varía de soldado a no soldado, localizado en la cuenca del Valle Central.
- Facies tipo Orotina: es una roca de densa a parcialmente soldada de color gris a gris azulado, con fragmentos pumíticos amarillo y negro, aflorando principalmente en la cuenca del río Grande de Tárcos y la planicie de Orotina.

Pérez (2000) indica que el espesor promedio es de 35 m.

Sobreyace en discordancia y/o discontinuidad litológica sobre las formaciones Colima, Pacacua, Peña Negra, Grifo Alto y La Cruz. Es sobreyacida por aluviones (Denyer & Arias, 1991).

La edad de las ignimbritas es de 0,330 M. a. y provienen de la caldera del Barva (Pérez, 2000).

3.3.1.1.2 ABANICOS COLUVIO ALUVIALES

Regionalmente, se ha descrito la zona donde se localiza el AP como abanicos aluviales, depósitos recientes o abanicos coluvio – aluviales. Mora (1985) en su trabajo de Laderas Inestables de Costa Rica describe para el sector de Santa Ana la presencia de Abanicos Aluviales. La depositación, progresiva y continua de materiales en las áreas planas, de materiales provenientes de las grandes montañas y acarreadas por ríos de considerable caudal, forma los abanicos aluviales (Mora, 1985). En la mayoría de los casos, esta depositación se realiza en forma de avalanchas, y por lo general, con el concurso de gran cantidad de agua (Mora, 1985).

Denyer & Arias (1991), describen depósitos recientes donde sobresalen los abanicos coluvio – aluviales bordeando groseramente los cerros de Escazú. Dentro de los cuales destaca el formado por el río Uruca y sobre el cual se asienta la población de Santa Ana, cuya formación estuvo asociada

a fenómenos de deslizamiento – represamiento causando avalanchas, fenómeno actualmente activo (Mora, 1985).

3.3.1.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.3.1.2.1 FORMACION TIRIBÍ

El levantamiento geológico local en el sector donde se construirá el puente y sus alrededores está compuesto por rocas volcánicas ignimbríticas correlacionadas con la Formación Tiribí (figura 2, Mapa Geológico Local).

Con respecto a los antecedentes consultados, se hace la observación que solamente la unidad de Ignimbritas Tiribí aflora en el cuadrante de levantamiento geológico de campo. El componente estratigráfico local fue complementado con la información de la perforación realizada en las coordenadas 1097987 N / 477533 E y el pozo AB-1344 localizado en las coordenadas 1097784 N / 477560 E, ambas en proyección CRTM05.

En el caso de la perforación realizada en el sitio de construcción del puente, los testigos obtenidos son de una capa de suelo con alto grado de meteorización producto de la meteorización de la ignimbrita hasta los 2,12 m de profundidad, seguido de la ignimbrita sana hasta los 20 m de profundidad.

En el caso del pozo AB-1334 la estratigrafía describe arcilla café impermeable hasta los 6 m de profundidad, asociada a la meteorización de la ignimbrita. De los 6 m hasta los 20 m de profundidad describe una toba soldada color gris claro.

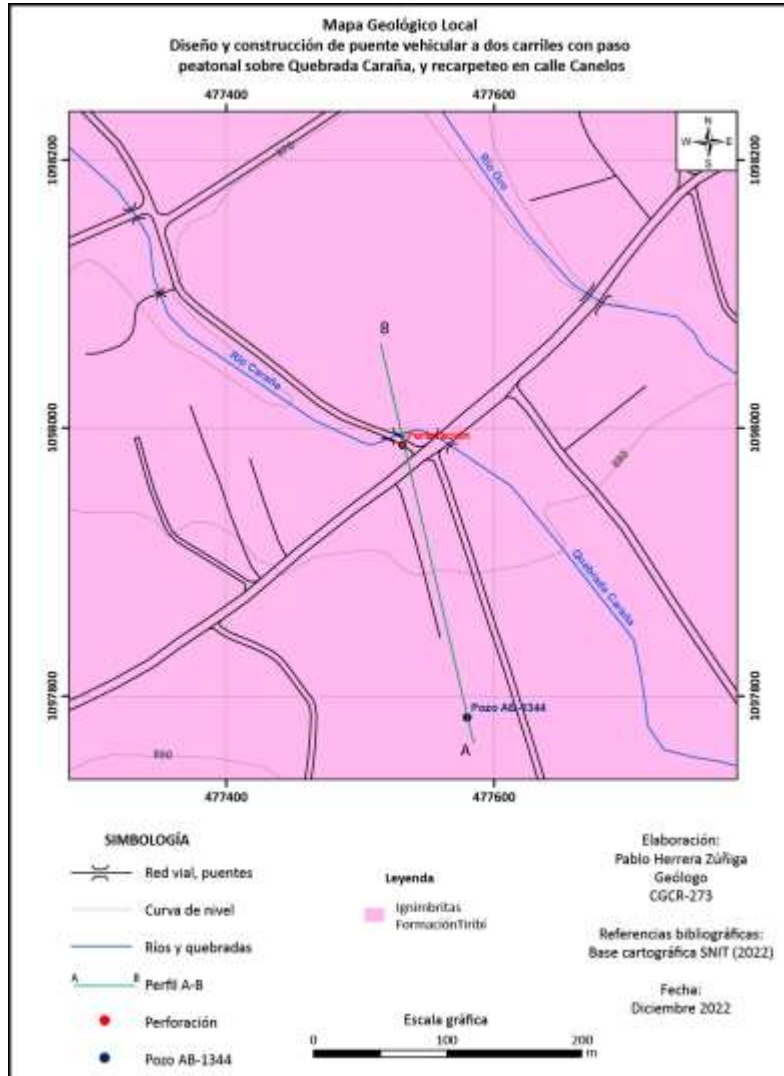


Figura 2: Mapa geológico local

3.3.1.3 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

La roca presenta una textura fluidal con matriz de color gris a gris violácea hacia la base de la perforación, soldada y con vesículas. Contiene fiammes centimétricos color negro y otros que meteorizan a colores amarillos. Se observan cristales de plagioclasas idiomórficas milimétricas y pómez milimétrica a centimétricos de colores blancos y amarillentos. Líticos no juveniles negros, posiblemente de lavas de tamaños milimétricos a centimétricos. Escorias de color gris oscuro centimétricas. La matriz es color gris de grano medio. Los productos de meteorización son pátinas milimétricas de la matriz y alteración de las plagioclasas y pómez. La distribución composicional

resultante es de 50% matriz, 30% líticos no juveniles, 5% pómez, 5% escorias y 10% fiammes. De 19 m a 20 m la roca presenta meteorización asociada a hidratación, posiblemente por influencia de un nivel de agua subterránea.

3.3.1.3.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Tomando en cuenta la información del pozo AB-1334 y la perforación realizada se obtiene el perfil estratigráfico de la zona de estudio (figura 3). Las columnas estratigráficas de referencia son las siguientes:

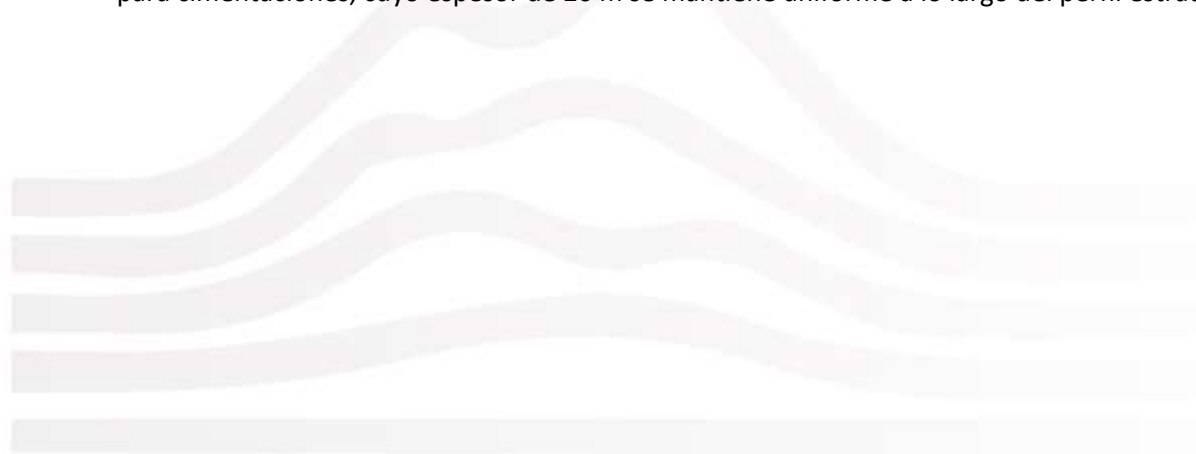
Tabla 4: Descripción estratigráfica sondeo S-01

| Profundidad (m) | Descripción |
|-----------------|--|
| 0,00 – 0,60 | Asfalto y lastre. |
| 0,60 – 2,12 | Capa geotécnica 1, suelo areno gravosa a limo arcilloso con grava producto de la meteorización de la ignimbrita. |
| 2,12 – 2,00 | Capa geotécnica 2, ignimbrita soldada gris claro a gris violáceo. RQD 95% a 100%. |

Tabla 5: Descripción estratigráfica pozo AB-1344

| Profundidad (m) | Descripción | Correlación estratigráfica |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,00 – 6,00 | Arcilla café impermeable. | Capa geotécnica 1. |
| 6,00 – 20,00 | Toba soldada color gris claro. | Capa geotécnica 2. |

Localmente, la capa geotécnica 1 tiene un espesor de 6 m en el sector sur del cuadrante de investigación, el cual, se reduce a aproximadamente 2 m en el sector donde se desarrollarán las obras. La capa geotécnica 2 es un macizo rocoso firme, soldado y de buena competencia geológica para cimentaciones, cuyo espesor de 20 m se mantiene uniforme a lo largo del perfil estratigráfico.



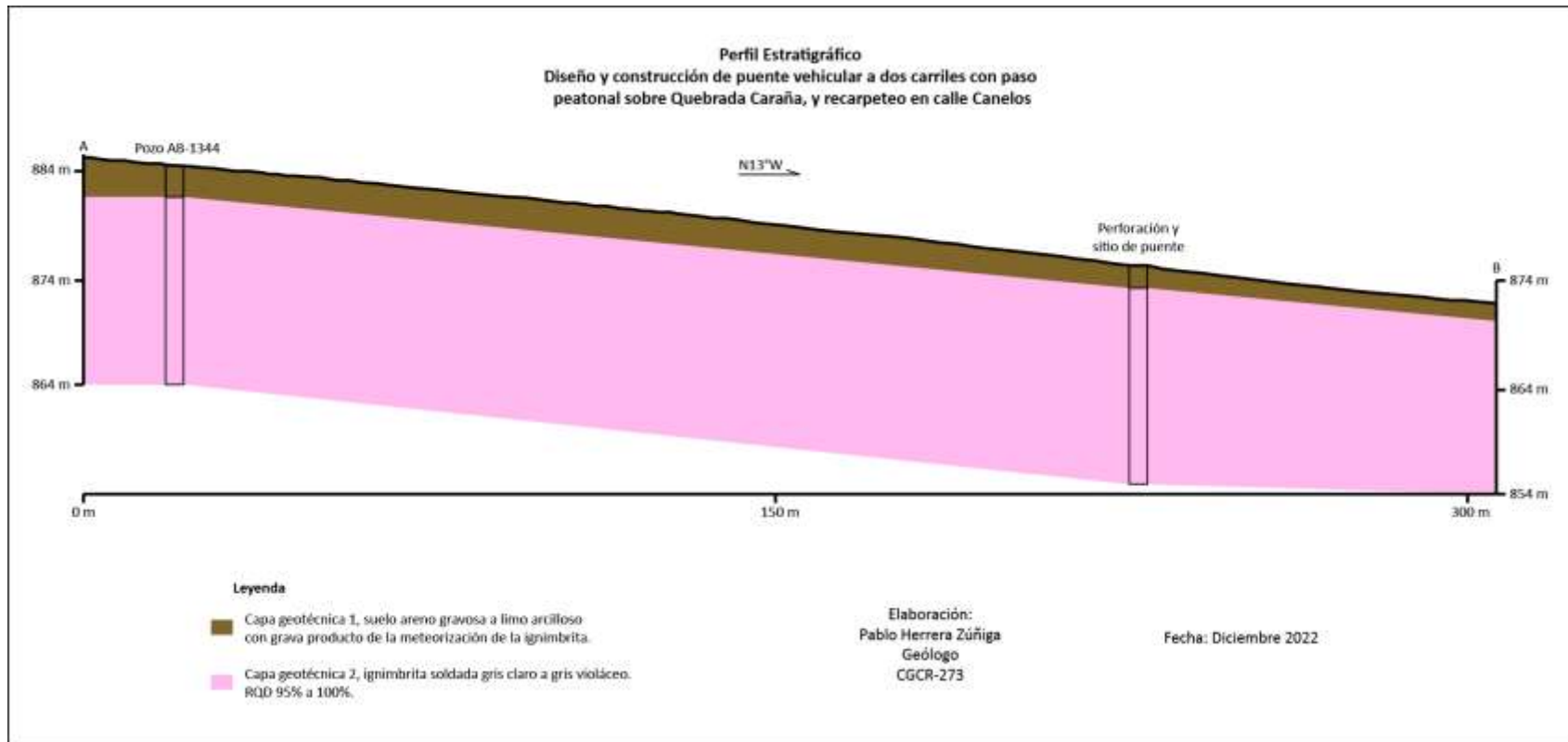


Figura 3: Perfil geológico

3.3.1.4 TECTÓNICA Y SISMOLOGÍA

3.3.1.4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS ESTRUCTURALES LOCALES

El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) constituye un sistema ancho de fallas y pliegues activos, el cual define el límite oeste entre la placa Caribe y la microplaca Panamá. Entre las fallas activas del CDCCR se encuentra la falla Aguacaliente, con la cual se asocian diversos terremotos históricos de magnitudes intermedias ($5,0 < M_s < 6,5$) (Montero et al., en prensa). Entre las secuencias sísmicas más dañinas asociadas con esta falla se encuentra la ocurrida entre 1910 y 1912, en la que destaca el desastroso terremoto del 4 de mayo ($M_s 6,1$), que destruyó la ciudad de Cartago y otros poblados cercanos y el cual se ubicó unos kilómetros al sur de la ciudad mencionada (Montero & Miyamura, 1981).

Denyer et al. (2003) describen el final de la falla Agua Caliente en su encuentro con la falla Frailes en el sector de Escazú y colocan una falla dextral al Sur de Santa Ana; sin embargo, los estudios más recientes (Montero, 2001; Montero et al. 2005) indican la existencia de relevos compresivos asociados de esta falla formando el sistema Bello Horizonte –Escazú.

No se cuenta con descripciones precisas sobre las fallas y alineamientos localizados en el cantón de Santa Ana (Vargas, 2021), sin embargo, las estructuras presentes tienen una relación intrínseca con los sistemas circundantes correspondientes con el sistema Escazú-Bello Horizonte - Aserrí – Jericó, tal fue propuesto por Montero (2001) como un sistema de fallas con rumbo NW que combina desplazamientos dextrales con levantamientos, a los cuales también se les atribuye actividad sísmica importante; además junto a este sistema de fallas propone la existencia de la falla Virilla e infiere la presencia de la falla Salitral. Por otro lado, Montero et al (2005) describen este sistema como una serie de relevos compresivos de la falla Aguacaliente, y detallan las características específicas de cada una de las fallas, no obstante, mantienen la clasificación de la falla Salitral como inferida.

Es importante recalcar la importancia de la localización de la falla Escazú como estructura influyente, ya que esta falla ha sido definida desde los primeros mapas de amenaza realizados (Woodward & Clyde, 1993) para el Valle Central; sin embargo, hasta la fecha se mantiene algunas dudas respecto a su comportamiento. Montero et al (2005) la han descrito como una falla inversa en dirección NW-SE producto de un relevo compresivo de la falla Aguacaliente. Los mapas más recientes obtenidos de la Comisión de Emergencias indican la existencia de la falla Escazú; sin embargo, no es posible concretar las condiciones de la falla como su actividad neotectónica, fuerza sísmica, capacidad sismológica y elementos morfológicos asociados.

Falla Aguacaliente

La falla Aguacaliente ha sido relacionada con actividad sísmica desde el trabajo de Dóndoli & Torres (1954). Geomorfológicamente, la falla Aguacaliente se ha caracterizado por el alineamiento de

promontorios truncados, valles lineales, ríos y quebradas desplazadas y adaptadas, alineamiento de fuentes termales y mineralizaciones sulfurosas (en los valles de Coris y de El Guarco y Desamparados), escarpes y sillas de falla (Woodward & Clyde, 1993; Fernández & Montero, 2002; Montero et al., 2006). La falla se considera de desplazamiento predominante sinistral (Fernández & Montero, 2002; Montero et al., en prensa) y su traza tiene una forma sinuosa con un rumbo variable entre ENE y WNW. Al sur de San José, el trazo principal de la falla pasa del lado sur de la loma Salitral y continúa hacia el este con un rumbo cercano al E-W hasta salir al valle de Coris. El sector suroeste del Valle Central (Cerros de Escazú y alrededores) ha sido un área muy activa (Montero et al 2005), debido al relevo compresivo que efectúa la falla Aguacaliente cambiando su rumbo E-W a NW con la presencia de las fallas Escazú, Bello Horizonte, Aserrí y Patalillos de movimiento, preferiblemente, inverso. La propuesta de Montero et al (2005) es que la falla Aguacaliente no termina en el relevo compresivo del sistema Bello Horizonte- Escazú, si no que prosigue hacia el Oeste mediante dos posibles rumbos: sobre la falla Salitral propuesta por Woodward & Clyde, (1993) como una falla sugerida como activa o sobre la traza de la falla Virilla, (Montero et al, 1991).

Relevos compresivos del sistema de falla Aguacaliente: Fallas Escazú, Belo Horizonte, Aserrí y Patalillos

Rodríguez (2017) las caracteriza como un conjunto de fallas que se encuentran situadas al suroeste de San José, correspondiendo con una serie de relevos compresivos asociados al sistema de falla Aguacaliente, las cuales, en su extremo norte, comienza en la zona occidental de la ciudad de Escazú y se extiende hasta la parte nororiental de Aserrí, donde se ubica la falla Patalillos.

El autor menciona que inicialmente, Denyer & Arias (1990) y Arias & Denyer (1991), proponen la falla Higuito con una traza muy similar a la que conforman estos relevos, con una extensión de hasta 27 km con un movimiento dextral-normal con el bloque occidental levantado. Hasta que finalmente, Montero et al. (2005), como anteriormente se mencionó, las asocia con el relevo compresivo, describiendo que la longitud conjunta del sistema ronda los 11 km, mientras que cada segmento presenta una longitud aproximada de 3,5 km.

Rodríguez (2017) indica que si bien diversos autores en un principio proponían para este conjunto de fallas un movimiento predominantemente dextral combinado con una componente normal que levanta el bloque occidental, Montero et al. (2005) enfatizan que el movimiento es predominantemente inverso, con un plano de falla inclinado hacia el suroeste y orientado NW.

Por último, dentro de sus características principales, Rodríguez (2017) menciona que la más evidente es el levantamiento del bloque occidental con respecto al oriental, mientras que Fernández & Montero (2002) destacan principalmente escarpes que miran hacia el este.

Falla Patalillos

Según Montero et al (2005) se interpreta como una falla de movimiento predominante inverso, con un posible componente de rumbo, se encuentran evidencias morfológicas tales como: Corte de las estribaciones montañosas entre el S de Concepción de Alajuelita y el SSW de San Juan de Dios de Desamparados, se observan varias facetas triangulares y silla de falla. Al S de Concepción, levanta las rocas de la Fm Coris, dentro de los abanicos coluvio aluviales de la zona.

El segmento de la falla Patalillo se une con el extremo W de la falla Aguacaliente, que pasa por un valle lineal y origina un escarpe de falla del lado Norte de la loma Alto Juan Dolores. De igual forma se considera importante hacer mención de esta ya que se encuentra en el límite E del cantón de Escazú y se relaciona con las fallas activas que se encuentran cercanas al área de estudio.

Falla Aserrí

Caracterizada por un escarpe facetado que mira hacia el norte. También destaca el valle encajonado y profundo del río Agres y una silla de falla ubicada al norte del poblado de Poás (Montero et al., 2005). Además, Fernández & Montero (2002) mencionan el desplazamiento dextral de una divisoria.

Sistema de fallas Escazú y Bello Horizonte

La falla Escazú es una falla inversa que posee una extensión de 6.5 km con rumbo noroeste y levantamiento en su bloque oeste, el cual presenta un escarpe disectado, alineaciones de ríos y quebradas en la traza de la falla, facetas triangulares, una silla de falla en un cerro aislado y un descanso topográfico. La traza se divide en un sector sur en condición activa y un sector norte con posibilidad de ser activo. Ambos tramos de la traza se dividen en el contacto con la falla Salitral. Además, sugieren que el ángulo de inclinación del plano de falla puede oscilar alrededor de los 35°, según observaciones en afloramientos (Montero et al, 2005).

Fernández & Montero (2002), le asigna un rumbo NW con un predominante escarpe de falla NNW y NW, ligeramente curvado hacia WSW, presenta alturas de 150 m con respecto a la topografía más suave localizada al E. Se observan morfologías asociadas tales como escarpes, facetas triangulares de varias generaciones, niveles subhorizontales del lado buzante de la falla, lo cual puede corresponder con horizontes de levantamiento producto de esta falla. Una de las morfologías más representativas de esta falla corresponde con un cerro aislado, este se ubica al N de Escazú, en el límite con Santa Ana y es conocido popularmente como el cerro Alto Palomas, así mismo presenta una serie de morfologías asociadas y alineamientos con dirección NW.

La falla Bello Horizonte se trata de una estructura de 3 km entre los cerros de Alajuelita y Bello Horizonte con una traza caracterizada por un cambio fuerte en la pendiente, escarpes poco facetados, ríos descabezados, desviados o desplazados (Montero & Fernández, 2002). Mientras que Montero et al. (2005) mencionan que presenta un escarpe facetado al noreste de tipo rectangular.

Falla Virilla

Esta falla se ubica al noreste del poblado de Picagres, en su sector sur colinda con las fallas Jaris y Picagres, y hacia el oeste se ubica la falla La Garita (Rodríguez, 2017).

Autores como Denyer & Montero (1988), Arias & Denyer (1990), Montero et al. (1998) y Montero (2001), suponen longitudes que rondan los 7 km, mientras que Marshall et al. (2000) la extienden aún más hacia el noreste, alcanzando los 10 km.

Como anteriormente se mencionó, Montero et al. (2005) expresa la posibilidad de que la falla Virilla se extienda hacia el noreste y logre conectarse con el segmento noroccidental de la falla Escazú, formando así parte del sistema de falla Aguacaliente. Arias & Denyer (1990) también sugieren hipotéticamente que la falla se puede extender más hacia el noreste, en concordancia con ello, Montero (2001) sugiere la posible asociación de la falla Virilla con una secuencia sísmica ocurrida en febrero de 1991, al noreste del relevo compresivo; los mecanismos focales presentan planos nodales de rumbo NW con movimiento dextral-inverso y NE con deslizamiento sinistral, concluyendo el autor que estos sismos o bien pertenecen al sistema Belo Horizonte-Escazú-Aserrí, o corresponden con una prolongación hacia el noreste de la falla Virilla.

Dentro de sus características Rodríguez (2017) menciona que en primera instancia fue denominada como falla Ciruelas (Denyer & Montero, 1989; Arias & Denyer, 1990; Marshall et al., 2000), ya que recorre parcialmente el cauce del río con el mismo nombre. Además, la falla Virilla se orienta aproximadamente N45°E y es de tipo sinistral (Montero 1999, 2001; Marshall et al., 2000; Montero et al., 2005) con un plano de falla de fuerte inclinación (Montero et al., 1998) y también, Arias & Denyer (1991) y Marshall et al. (2000) sugieren una componente normal para la falla Ciruelas con su bloque noroeste levantado.

Por último, Montero (2001) menciona que se trata de una falla con expresión morfológica débil, siguiendo la traza parcialmente el valle del río Ciruelas hasta su unión con el río Jaris.

Falla Salitral

Denyer & Arias (1991) describieron esta falla bajo el nombre falla Pacagua y le asignaron un movimiento relativo sinistral oblicuo.

La figura 4 muestra el modelo tectónico que incluye la zona de estudio.

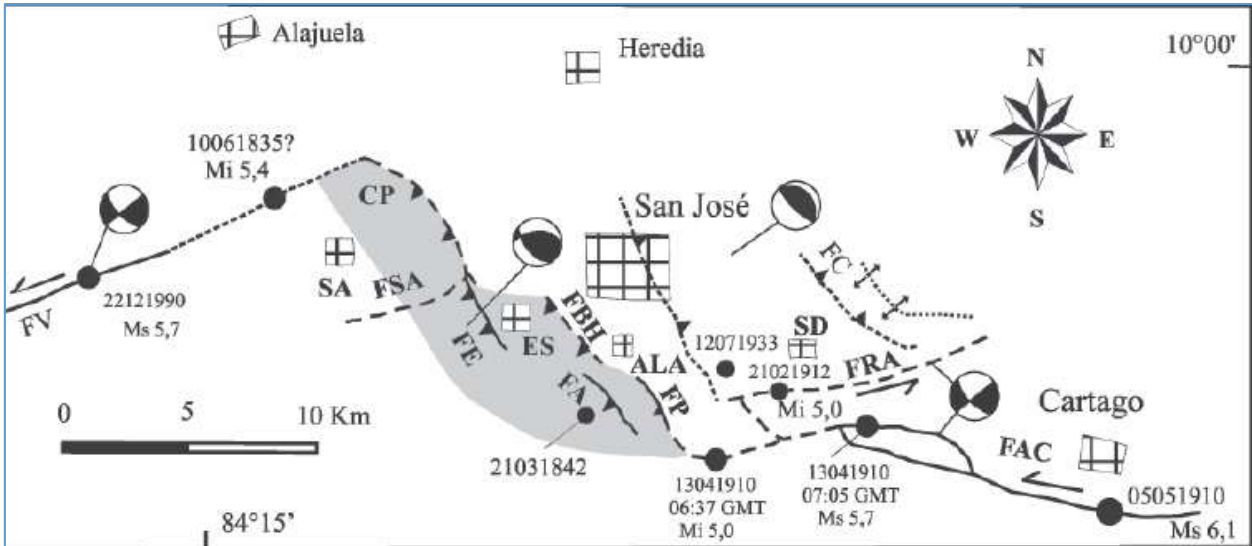


Figura 4: Modelo tectónico que muestra los sistemas de falla Río y Agua Caliente y su posible continuación con la falla Virilla. Tomado de Montero et al., 2005. FSA falla Salitral, FE falla Escazú, FBH falla Bello Horizonte, FA falla Aserrí, FP falla Platanillo.

3.3.1.4.2 SISMICIDAD HISTÓRICA EN LA ZONA DE ESTUDIO Y ALREDEDORES

Vargas (2021) indica que en los alrededores del sitio de estudio se localiza el sistema de fallas tectónicas Frailes, Escazú y Salitral, estas dos últimas incluidas en lo que se conoce como relevo compresivo de la falla Aguacaliente, siendo esta última falla una de las estructuras geológicas neotectónicas más importantes del sur del Valle Central, caracterizada por ser una falla de desplazamiento de rumbo E-W, junto con las fallas inversas Aserrí, Bello Horizonte, Patalillo y Escazú, y su continuación hacia el noreste con la falla Salitral o Virilla.

Montero et al (2005) no le asocian actividad sísmica a la falla Salitral, mientras que la hipótesis de que la falla Escazú posea una relación genética con la sección oeste de la falla Aguacaliente, podría abrir la posibilidad de que genere un potencial sísmico mayor. Mientras tanto, la falla Frailes; al igual que la falla Bello Horizonte, al poseer sismos históricos importantes asociados si conserva un potencial sísmico alto; por lo que sí es destacable la posibilidad de ocurrencia de sismos superficiales de baja magnitud que puedan generar daños potenciales en la infraestructura.

El Sistema de Falla Aguacaliente ha generado sismos muy destructivos durante el siglo pasado y antepasado, como el terremoto de Cartago de 1841 (Mw 6.3), y 1910 (MW 6.2).

Rodríguez (2017) menciona con respecto a la actividad sísmica del relevo compresivo que Montero et al. (2005) Indican que este conjunto de fallas presenta actividad, mencionando que existe sismicidad entre 1984 y 2005 concentrada en el sector donde la falla Aguacaliente cambia de rumbo y continua en los relevos compresivos, en donde la mayoría de los sismos visualizados se sitúan en

el sector occidental de las trazas de fallas propuestas, concordando con un plano inclinado hacia el oeste. También, el temblor del 10 de junio de 1835 de magnitud estimada 5,4 Ms puede estar relacionado con la falla Escazú o bien con la falla Salitral, tomando en cuenta el epicentro propuesto por Peraldo & Montero (1999) para este evento, para el cual según los mismos autores genero intensidades de VII tanto en Escazú como en Alajuela. De igual forma, el temblor de Alajuelita del 21 de marzo de 1842, 5,4 Ms, pudo haber estado relacionado con este sistema de fallas, según Peraldo & Montero (1999) quienes asociaron el evento con las fallas Belo Horizonte-Higuito.

Con respecto a la falla Virilla, Rodríguez (2017) menciona que esta se puede considerar como una falla neotectónica o inclusive potencialmente activa, según indica Montero et al. (1998) la falla posee claras evidencias de movimiento Cuaternario. Luego Montero (1999) infiere que la falla Virilla pudo haber presentado actividad en la secuencia sísmica de Puriscal en 1990 y en Montero (2001), sugirió que el terremoto de Piedras Negras del 22 de diciembre de 1990 (5,7 Ms) había ocurrido en esta falla, lo cual posteriormente quedó descartado con el trabajo de Montero & Rojas (2014) quienes responsabilizan a la falla Picagres por dicho evento. El epicentro causó intensidades de VI en el sitio de estudio. Los daños más importantes con el último sismo ocurrieron en Puriscal y Alajuela, a edificaciones menores e iglesias, y algunos en San José, incluido el Teatro Nacional. Ocurrieron deslizamientos en el cañón del Virilla, y se reportaron 100 personas con heridas leves (Rojas & Barquero, 1991).

Por último, como se mencionó anteriormente Montero (2001) menciona una secuencia sísmica en febrero de 1991 al noreste de los relevos compresivos, concluyendo que los sismos pueden pertenecer al sistema de los relevos compresivos o a una prolongación hacia el noreste de la falla Virilla.

Luego, la falla Belo Horizonte, durante noviembre de 1992, enero de 1993 y septiembre de 1993, genero enjambres sísmicos. Los cuales presentan una tendencia noroeste, en la misma dirección de la falla. En su mayoría magnitudes bajas, que varían entre 2 y 3 grados, con un solo evento de 4,1 y profundidad de 6,5 km (Fernández & Montero, 2002).

En junio de 1994 ocurrió un enjambre pequeño, registrando un sismo con magnitud máxima de 3,4 al sur de Desamparados, por donde cruzan las fallas Aguacaliente, Río Azul y Jericó. Se generaron pocos sismos y muy cercanos a las distintas fallas, dificultando determinar con certeza la falla que originó la actividad sísmica. Sin embargo, Rojas et al. (1994), relacionaron estos sismos con las fallas Higuito y Salitral (Fernández & Montero, 2002).

Posteriormente, en octubre de 1994 se registró nuevamente en la misma zona epicentral un nuevo enjambre. En este caso se generó una secuencia de temblores cuyo máximo evento tuvo magnitud 4,2 al igual que en junio, se relacionaron con las fallas Salitral e Higuito. Una mayor cantidad de temblores con magnitud 3, permitieron definir mejor la fuente de estos temblores a la falla Aguacaliente. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad que en las fallas Jericó y Río Azul hayan ocurrido desplazamientos durante ese enjambre (Fernández & Montero, 2002).

El 13 de noviembre de 1997 se registró un evento de magnitud 3,7 cerca de la intersección de las fallas Jericó y Aguacaliente, se localizó a 11 km de profundidad. Ocasionando 2 réplicas con magnitud mayor de 3,0 y más de 40 con magnitudes menores a 3,0. Los epicentros de estos temblores se ubican cerca de las fallas Jericó y Aguacaliente (Fernández & Montero, 2002).

Sismicidad reciente

Respecto a la actividad sísmica más actual, a inicios del mes de abril del año 2016 la Red Sismológica Nacional localizo 26 sismos, al sur de Escazú, Santa Ana y Ciudad Colón. Con los cuales determinaron la falla Salitral como la posible responsable de la sismicidad, debido a la orientación de los sismos, en dirección suroeste-noreste, desde el sur de Ciudad Colón hasta el oeste de Escazú. Sin embargo, no se puede ignorar la cercanía de la falla Escazú. Este enjambre de sismos se ha caracterizado por magnitudes (Mw) de entre 1,8 y 3,3 y profundidades menores a 13 km. El sismo de mayor magnitud del enjambre ocurrió el día 25 de mayo, 3 km al sur de Santa Ana con una profundidad de 9 km.

Con base a Vargas (2021), más recientemente, en la figura 5, se muestra la sismicidad registrada entre los años 1988 y el 2017 en el cantón de Santa Ana según información del Atlas 2014 y el Laboratorio de Ingeniería sísmica de la Universidad de Costa Rica, con magnitudes entre 1,2 y 4,9 Mw y profundidades entre 0,5 km y 101,6 km, predominando los sismos con magnitudes entre 2 y 2,9 Mw con profundidades entre 1,1 y 101,6 km. La gran mayoría de los sismos corresponden a actividad tectónica local, incluyendo el sismo de mayor magnitud 4,9 Mw, el cual ocurrió a los 20 km de profundidad y se ubica al noreste del cantón, específicamente en medio del área entre la falla Piedades y el alineamiento que se extiende en todo el límite oeste del cantón.

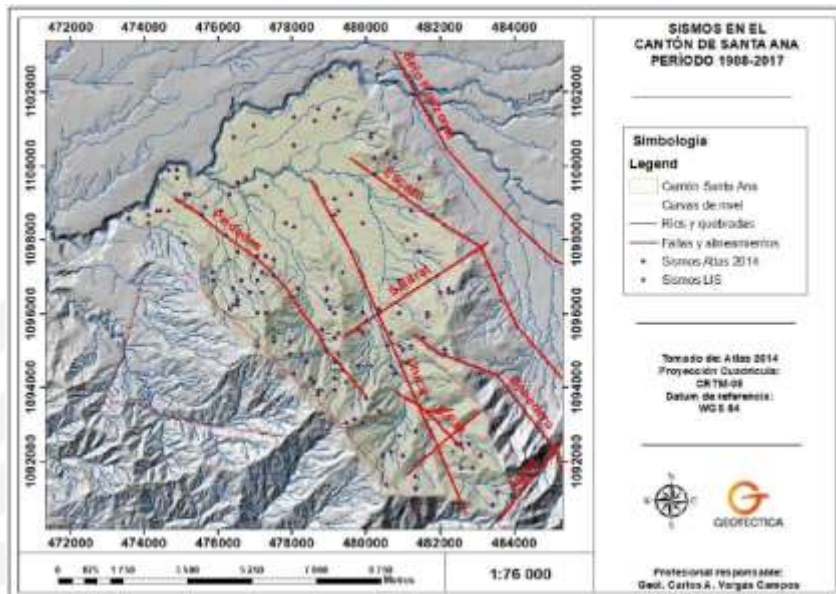


Figura 5: Sismos en el cantón de Santa Ana, período 1988-2017 (tomado de Vargas, 2021).

En el siguiente cuadro se muestran los sismos ocurridos en el cantón de Santa Ana entre los años 2018 y 2021, algunos de ellos cercanos a la traza de la falla Salitral, tal y como lo en las figuras 6 y 7, según información del Observatorio Vulcanológico y sismológico de Costa Rica de la Universidad Nacional de Costa Rica y la Red Sismológica Nacional y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica, ambos de la Universidad de Costa Rica (Vargas, 2021).

Tabla 6: Sismos recientes en el cantón de Santa Ana.

| Sismo | | Características | |
|------------|---------------|------------------|---------------------------------------|
| Fecha | Magnitud (Mw) | Profundidad (km) | Ubicación |
| 30-11-2018 | 2.9 | 7.9 | 2.5 km al SO de Salitral de Santa Ana |
| 09-05-2019 | 3.3 | 8.8 | 3.2 km al SO de Pozos de Santa Ana |
| 29-10-2019 | 4.3 | 67.5 | 3.1 km al ENE de Colón de Mora |
| 22-01-2020 | 2.9 | 9 | 2 km al O de Piedades de Santa Ana |
| 23-01-2020 | 2.4 | 10 | 4 km al SO de Santa Ana |
| 24-01-2020 | 2.7 | 9 | 1 km al SE de Piedades de Santa Ana |
| 26-01-2020 | 2.3 | 8 | Piedades de Santa Ana |
| 26-01-2020 | 1.5 | 15 | 1.5 km al S de Piedades de Santa Ana |
| 06-07-2020 | 1.86 | 9 | 3.5 km al O de San Antonio de Escazú |
| 07-07-2020 | 2.7 | 6.9 | 0.6 km al SO de Salitral de Santa Ana |
| 08-07-2020 | 2.6 | 11 | 3 km al S de Santa Ana |
| 08-07-2020 | 2.2 | 7 | 1 km al O de San Antonio de Escazú |
| 08-07-2020 | 2.5 | 11 | 3 km al sur de Santa Ana |
| 08-07-2020 | 2.6 | 11 | 3 km al sur de Santa Ana |
| 08-07-2020 | 2.8 | 9 | 1 km al N de Piedades de Santa Ana |
| 21-07-2020 | 2.1 | 11 | 2.6 km SSE de Salitral de Santa Ana |
| 21-07-2020 | 2.1 | 10 | 4.4 km SSE de Santa Ana |
| 03-08-2020 | 2.4 | 11 | Piedades de Santa Ana |
| 15-08-2020 | 2 | 10 | 0.5 km al SE de Piedades de Santa Ana |
| 01-09-2020 | 2 | 12 | 3 km al SO de Salitral de Santa Ana |
| 02-09-2020 | 2.2 | 9 | 3 km al SO de Santa Ana |
| 07-09-2020 | 2 | 11.5 | 4 km al este de Ciudad Colón |
| 09-09-2020 | 1.8 | 12 | 2.8 km al SO de Salitral de Santa Ana |
| 14-09-2020 | 1.7 | 8 | 2.2 km al SE de Piedades de Santa Ana |
| 26-09-2020 | 2.9 | 7.8 | 3.1 km al O de Salitral de Santa Ana |
| 05-10-2020 | 2.5 | 6 | 2 km al S de Piedades de Santa Ana |
| 11-10-2020 | 2.9 | 13.7 | 3.2 km al SO de Salitral de Santa Ana |
| 03-12-2020 | 1.5 | 8 | 2 km al O de Santa Ana |
| 28-02-2021 | 2.7 | 6.0 | 2 km al S de Piedades de Santa Ana |

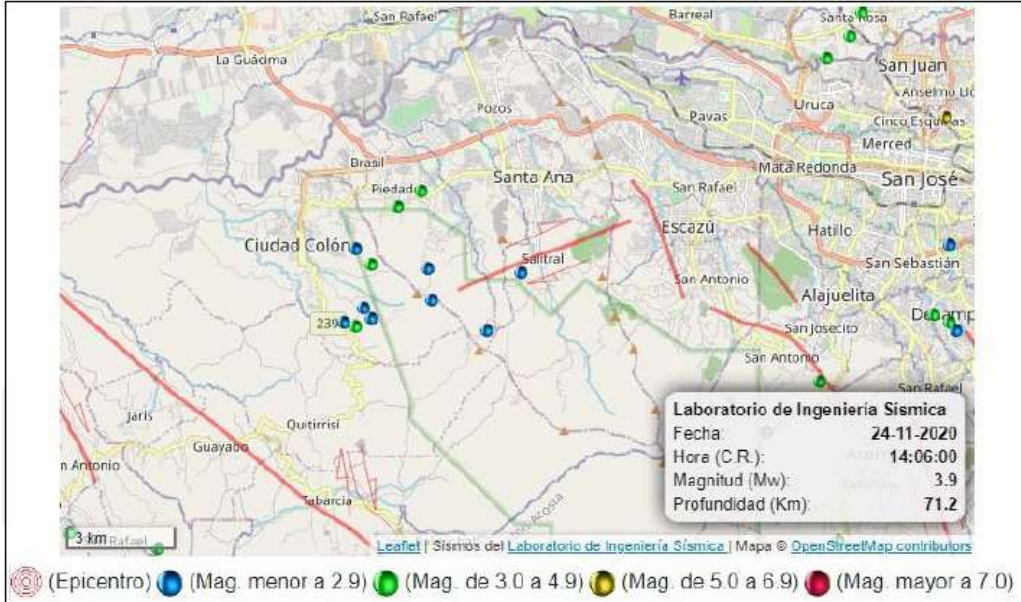


Figura 6: Sismos recientes en el cantón de Santa Ana, según información del Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Universidad de Costa Rica.

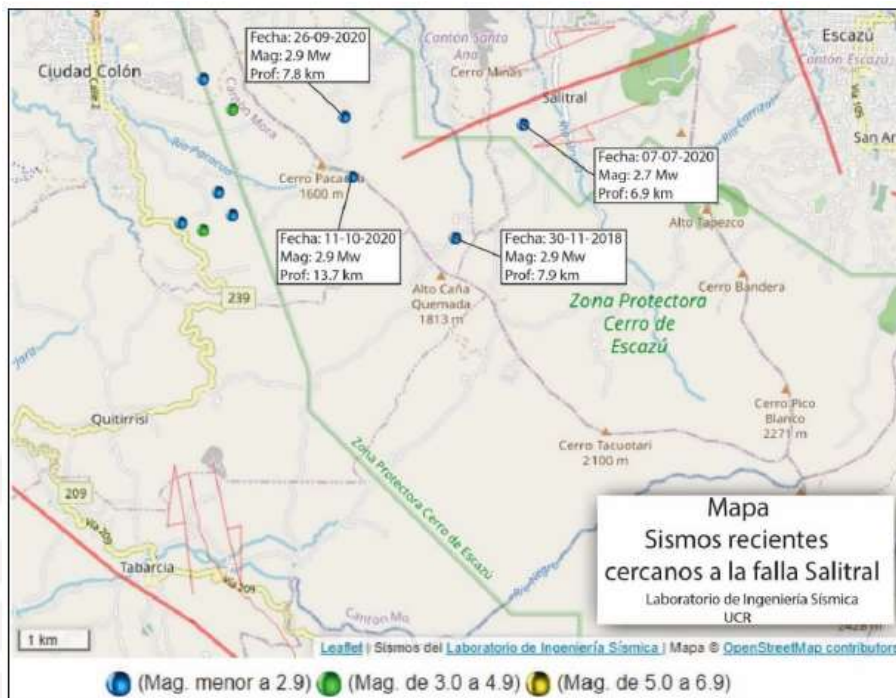


Figura 7: Mapa de sismos recientes cercanos a la falla Salitral, tomado del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2021).

4 RESULTADOS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS

En la zona de estudio los suelos están representados por dos capas geotécnicas conformadas por materiales arcillosos y roca.

Para la descripción de cada una de las capas, se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación Suelos, definido como SUCS, estableciendo para cada material un grupo, identificado con un símbolo y un nombre asociado a las características físicas del mismo. El sistema de clasificación SUCS define los grupos de suelos según el tamaño de las partículas y las características de plasticidad.

De acuerdo con el mapa de tipo de suelos del Código de Cimentaciones vigente, la zona corresponde con suelos residuales de color amarillento tipo Am.

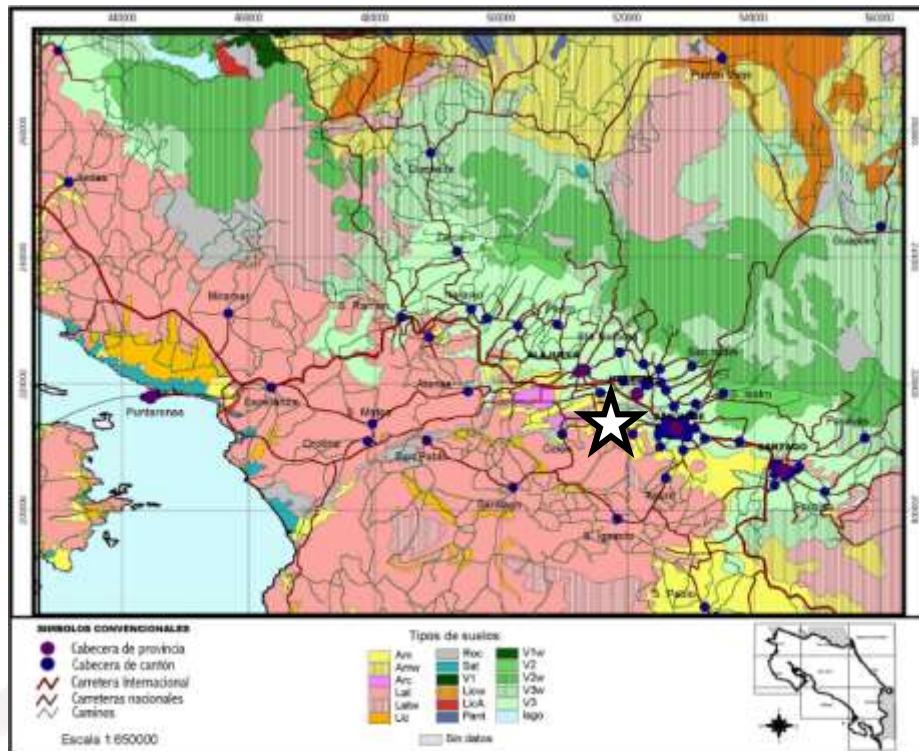


Figura 8: Tipos de suelos de la hoja San José
(Código de Cimentaciones de Costa Rica)

4.1 DATOS DE ENSAYOS

4.1.1 ENSAYOS EN SONDEOS

Los resultados de los ensayos efectuados en los sondeos se muestran a continuación en la tabla 7 que muestran el número de golpes N_{SPT} de acuerdo con su profundidad y la compacidad que lo describe.

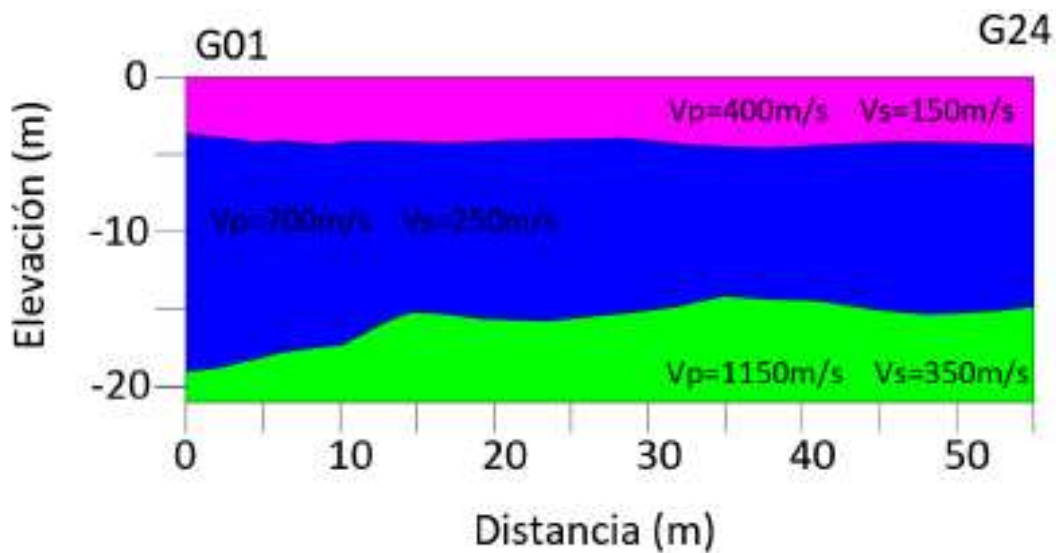
Tabla 7: Resultados de los ensayos SPT

| Sondeo | Profundidad (m) | N_{SPT} | Consistencia |
|--------|-----------------|-----------|--------------|
| S-01 | 1,80 – 2,12 | 5* | Blanda |
| | 2,00 – 20,00 | Rebote | Muy densa |

*1 SPT=2,2 MI

4.1.2 RESULTADOS INVESTIGACION GEOFÍSICA

Los trabajos realizados permiten establecer el siguiente perfil sísmico.



Esquema 3: Modelo de capas según refracción sísmica

En la siguiente tabla se indican los principales parámetros geofísicos medios y los parámetros geotécnicos derivados.

Tabla 8: Parámetros medidos y derivados a partir de ensayos geofísicos (Informe de geofísica, Anexo 4)

| Parámetro geofísico medido | Símbolo | Unidad | Capa | | |
|--------------------------------|---------|--------|------|-----|------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Velocidad de onda compresional | V_p | m/s | 400 | 700 | 1150 |
| Velocidad de onda secundaria | V_s | m/s | 150 | 250 | 350 |
| Espesor de la capa | h | m | 4 | 15 | 11 |

| Parámetro geotécnico derivado (Tezcan et al, 2009) | Símbolo | Unidad | Capa | | |
|--|-----------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Peso específico | γ | kN/m ³ | 14.31 | 16.46 | 18.63 |
| Parámetro de Poisson | ν | Adim. | 0.42 | 0.43 | 0.45 |
| Módulo de cizalle máximo | G | MPa | 33 | 105 | 233 |
| Módulo edométrico | E_c | MPa | 233 | 822 | 2512 |
| Módulo de Young | E | MPa | 93 | 299 | 674 |
| Módulo de Bulk | K | MPa | 190 | 682 | 2202 |
| Capacidad de soporte última | q_{ult} | kPa | 215 | 411 | 652 |
| Número de golpes SPT | N_{SPT} | Adim. | 7 | 17 | 33 |
| Coefficiente de balastro | k_s | kN/m ³ | 8587 | 16460 | 26089 |
| Velocidad cortante promedio de los primeros 30 m | V_{300} | m/s | 254 | | |

4.2 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

En el sitio de exploración se detectó nivel freático a una profundidad de 1,80 m; **se debe aclarar que esta condición puede variar de acuerdo con la estación del año.**

4.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS MUESTRAS

En las muestras recuperadas se realizaron ensayos para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) según la norma ASTM D2216, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9: Contenido de humedad en sondeos

| Sondeo | Prof. (m) | Contenido de humedad (%) |
|--------|-------------|--------------------------|
| S-01 | 1,80 – 2,12 | 29,4 |
| | 3,00 – 3,30 | 9,7 |
| | 6,00 – 6,30 | 7,8 |

4.3 CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS S.U.C.S.

Debido a que las capas presentan características propias dentro del grupo al que pertenecen, se muestran a continuación las descripciones específicas encontradas:

Tabla 10: Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)

| Sondeo | Prof. (m) | SUCS | L.L. | I.P. |
|--------|-------------|-------------------------------------|------|------|
| S-01 | 1,80 – 2,12 | Arcilla de baja plasticidad arenosa | 44,8 | 22,0 |

Donde;

L.L. = Límite líquido

I.P. = Índice de plasticidad

4.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO

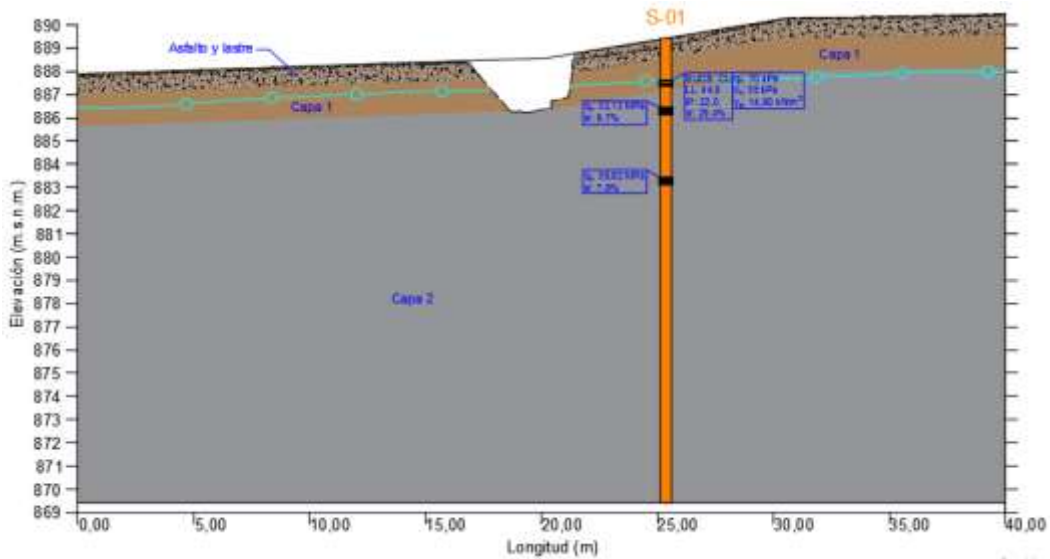
La tabla 11, muestra la descripción del perfil geotécnico del terreno explorado en ambos márgenes.

Tabla 11: Descripción de perfil del terreno

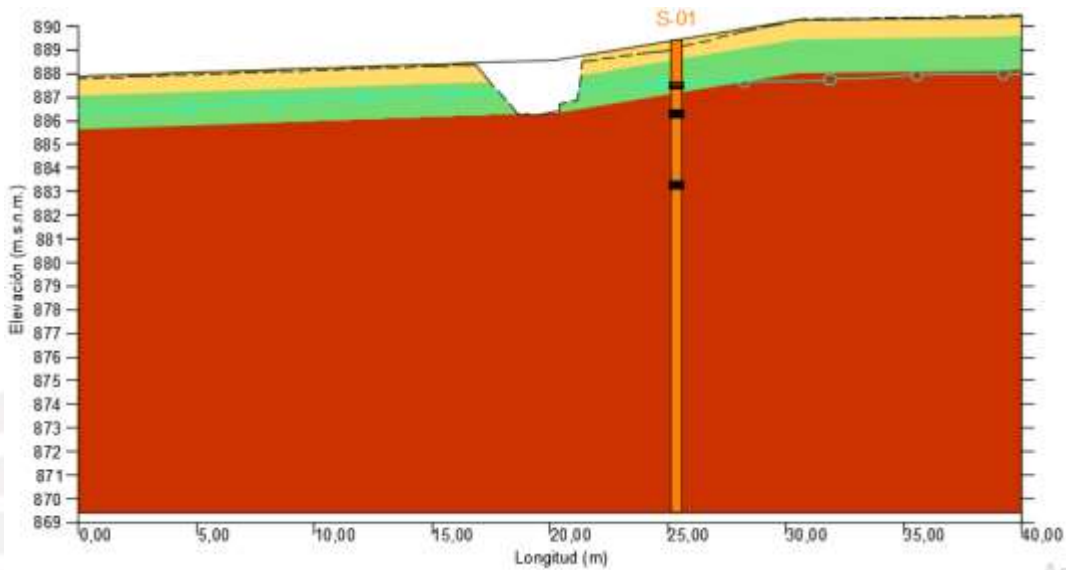
| Descripción de capas | Material recuperado |
|---|--|
| <p>0,00 – 0,60: Asfalto y lastre.</p> <p>0,60 – 2,12: Arcilla de baja plasticidad arenosa, color café. Producto de la meteorización de la ignimbrita.</p> |  |
| <p>2,12 – 20,00: Ignimbrita soldada gris claro a violáceo.</p> |  |

4.3.2 PERFIL GEOTÉCNICO

Los resultados de la investigación de campo y los ensayos de laboratorio realizados en los sondeos permiten establecer el siguiente esquema.



Esquema 4: Perfil geotécnico



Esquema 5: Compacidad y/o consistencia del terreno

4.3.3 PATOLOGÍAS GEOTÉCNICAS

La patología geotécnica es el término empleado para consignar fallos del comportamiento del terreno con incidencias geotécnicas. En este proyecto no se detectaron indicios de licuación de suelos o arcillas expansivas.

5 EVALUACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GEOTECNICAS

5.1 CAPACIDAD SOPORTANTE Y DE CIMENTACIÓN

5.1.1 CAPACIDAD SOPORTANTE EN ESTRUCTURAS

La capacidad de carga en rocas puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$q_{adm} = p_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \sqrt{\frac{q_u}{p_0}}$$

Donde:

q_{adm} = capacidad de carga admisible

p_0 = Presión de referencia. Se estima en 1 MPa.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ = parámetros adimensionales, según tipo de roca, grado de alteración y espaciamiento de litoclasas.

Los valores a considerar en cada parámetro se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Valores de parámetros de macizo rocoso de apoyo

| Parámetro | Valor | Observación |
|------------|--------|--------------------------------------|
| | S-01 | |
| α_1 | 0,80 | Roca ígnea |
| α_2 | 0,70 | Grados de meteorización entre I y II |
| α_3 | 0,97 | A partir del RQD |
| q_u | 40 MPa | |

Los valores de los ensayos de compresión simple obtenidos de laboratorio son los mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 13: Resultados de Resistencia sin Drenaje

| Sondeo | Prof. (m) | q _u (kPa) | Tipo de Ensayo |
|--------|-------------|----------------------|---|
| S-01 | 3,00 – 3,60 | 32 130 | Compresión inconfina de núcleos de roca |
| | 6,00 – 6,30 | 39 820 | Compresión inconfina de núcleos de roca |

5.2 ASENTAMIENTOS

Considerando que el perfil geotécnico corresponde con un terreno de macizo rocoso en las cotas que se recomienda la cimentación, se puede esperar un asentamiento no mayor a los 2,50 cm siempre que se sigan las recomendaciones indicadas en los párrafos correspondientes.

5.3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA

El país se encuentra dividido en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas zona II, III y IV según se observa en la siguiente figura. El sitio de cimentación es el lugar de emplazamiento de un puente cuyas características geotécnicas generan modificaciones específicas en la demanda sísmica.

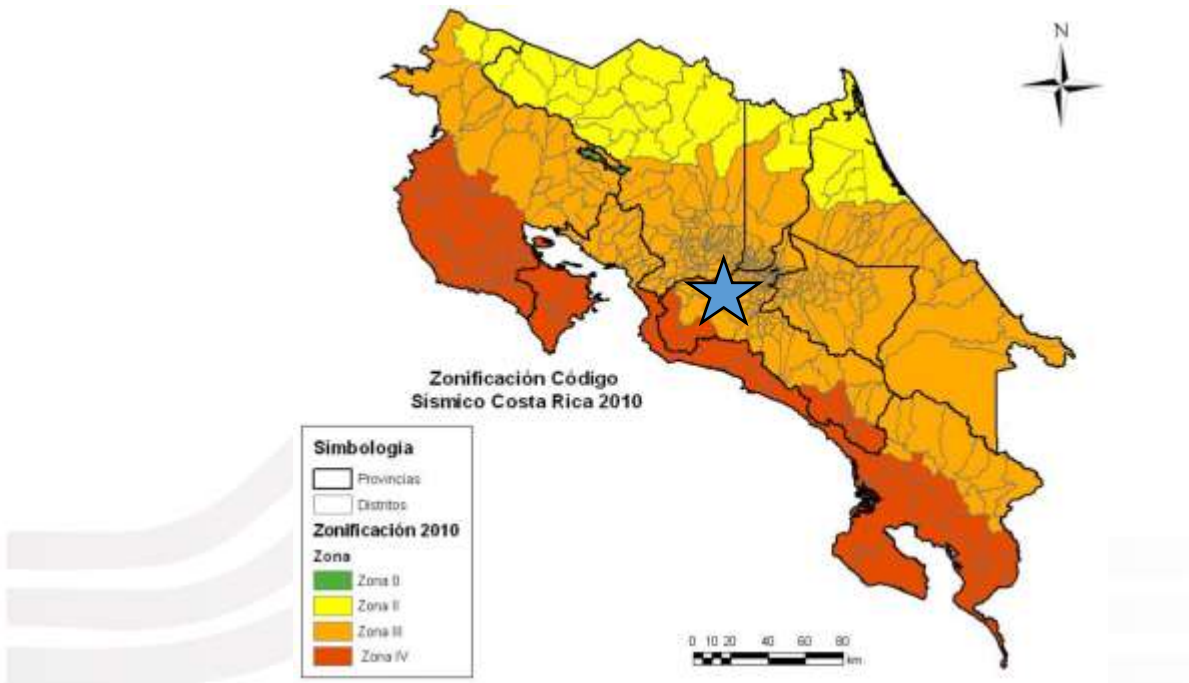


Figura 9: Clasificación de zonas de amenaza sísmica

Para el puente en análisis, la clasificación del sitio de cimentación se basa en la resistencia de los materiales presentes en el perfil estratigráfico medida en el sitio a través del ensayo de penetración estándar (SPT) o velocidades de onda cortante promedio y la tabla 2.3-1 o 2.3-2 de los Lineamientos para Diseño Sismorresistente de Puentes. La zona sísmica se determina a partir de la ubicación del proyecto.

Tabla 14: Parámetros sísmicos para puentes

| Determinación de la demanda sísmica | |
|--|----------------|
| Zona sísmica | III |
| Sitio de cimentación | S ₃ |
| Aceleración pico efectiva de diseño en la componente horizontal y se estima un 50% en la componente vertical | 0,30g |

El coeficiente sísmico (C), se estima de acuerdo con lo recomendado por el Código Sísmico, y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}$$

Donde;

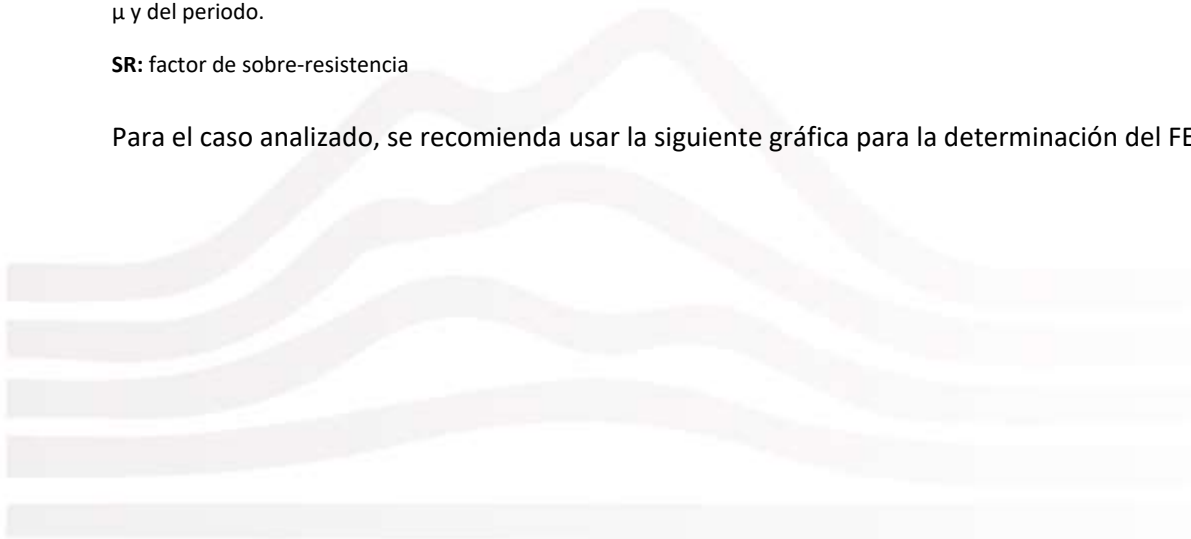
a_{ef}: aceleración pico efectiva de diseño, expresada como fracción de la gravedad.

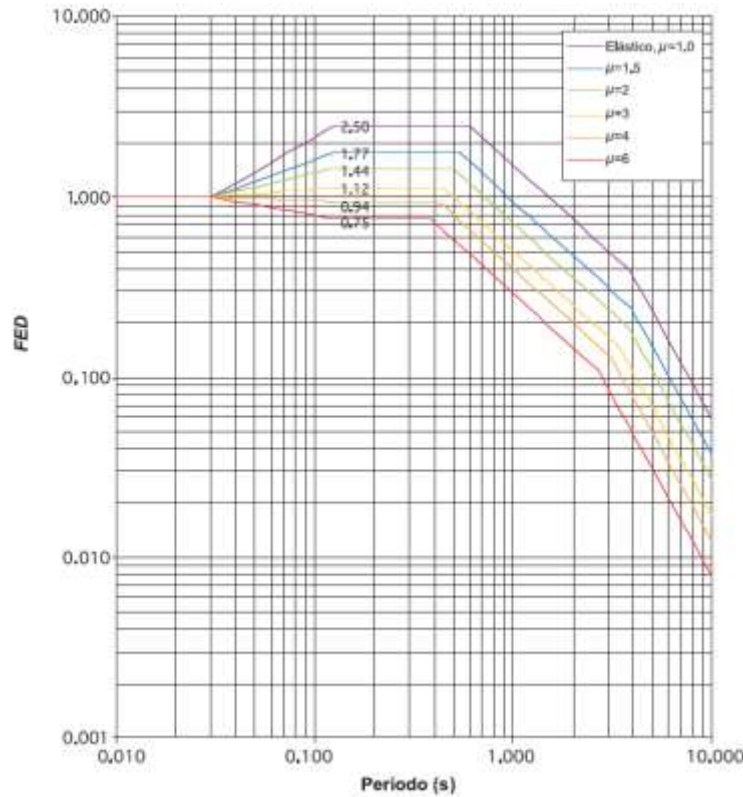
I: factor de importancia de la edificación, según tabla 4.1 del Código Sísmico

FED: factor espectral dinámico: es la modificación en aceleración que sufre un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración del suelo y es función de la zona sísmica, del sitio de cimentación, de la ductilidad global asignada μ y del periodo.

SR: factor de sobre-resistencia

Para el caso analizado, se recomienda usar la siguiente gráfica para la determinación del FED.





Gráfica 1: Factor espectral dinámico, FED, para sitios Tipo S3 en Zona III
(Tomado del Código Sísmico de Costa Rica)

Mientras que los Coeficientes Sísmicos Espectrales C_a y C_v , se definen de acuerdo a la tabla 2.4-1 de documento Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes y corresponden a los siguientes valores: $C_a = 0,410$ y $C_v = 0,605$.

5.4 CONCLUSIONES SOBRE CIMENTACIONES PARA LAS OBRAS

A la vista de la morfología de la zona objeto del reconocimiento, de las litologías detectadas, de las propiedades de los materiales y de la tipología constructiva se plantea como viable en un principio la solución de cimentación superficial mediante placas de fundación superficial.

5.4.1 CIMENTACIONES SUPERFICIALES

La cimentación se recomienda realizar sobre el estrato de ignimbritas identificado como Capa 2, cuyos valores de capacidad se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 15: Valores de Capacidad de Soporte

| Bastión | Prof. (m) | α_1 | α_2 | α_3 | q_u (MPa) | q_{adm} (kPa) | q_{adm} (ton/m ²) |
|---------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-----------------|---------------------------------|
| Derecho | 2.15 | 0.80 | 0.70 | 0.97 | 40.00 | 3,435.50 | 343.55 |

Los valores de capacidad de soporte obtenidos son altos debido a que corresponden a un macizo rocoso de buena calidad en el espesor de influencia del bulbo de presiones. En el caso de que la cimentación se dé en una cota superior, la capacidad podrá verse afectada de manera negativa y deberán ser recalculadas las capacidades.

Consideraciones importantes:

- El terreno está conformado por 1 capa producto de depósitos aluviales que tiene como efecto suelos de consistencias entre bajas a medias en los primeros 2 m de la margen izquierda.
- En el sitio de exploración se detectó nivel freático estacionario a 1,80m de profundidad, se debe aclarar que esta condición puede variar de acuerdo a la estación del año.
- La cimentación podrá realizarse por cimentación superficial, con desplante en los primeros 2,00m y una capacidad de soporte admisible de hasta 300 ton/m² emplazada directamente sobre la roca.

5.5 EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El terreno presenta una topografía plana. Se recomienda mantener siempre medidas de control de erosión y evitar procesos de saturación intensa del terreno. El agua es el principal detonante de procesos de inestabilidad en los terrenos y su control es vital para el buen comportamiento de estos.

5.5.1 PRESION LATERAL DE TIERRAS Y ADHERENCIA PLACA - SUELO

Para la presión lateral de los suelos y la adherencia Placa - Suelo, se deberán considerar los siguientes coeficientes de empuje activo (K_a), pasivo (K_p) y reposo (K_o), y de rozamiento placa – suelo (δ), de acuerdo con los valores medios del ángulo de fricción interna del suelo.

Tabla 16: Valores de Coeficientes

| ϕ grados | K_a | K_p | K_o | δ ((3/4) ϕ) |
|---------------|-------|-------|-------|--------------------------|
| 17 | 0,59 | 1,70 | 0,74 | 12,75 |

5.5.2 CORTES TEMPORALES Y/O PERMANENTES

Las características poco cohesivas del material que conforma el perfil geotécnico limitan la ejecución de cortes libres del terreno, en ángulos de no más de 40° en el caso de cortes permanente y de hasta 50° en el caso de cortes temporales, aunque estas no son consideraciones para zonas con influencia directa de cargas.

En ambos casos deberán considerar controles de saturación, evitando exponer los cortes a periodos de lluvia intensa, ni a proceso de erosión. Por lo que se recomienda que los cortes consideren la siembra de vegetación de rápido crecimiento o enrocados de protección a la erosión en el caso de cortes permanentes, o de colocación de materiales impermeables de protección tipo plástico, en el caso de cortes temporales.

Las recomendaciones indicadas, aplican también para cortes de zanjas, las cuales se podrán ejecutar en ángulo vertical, pero deberán ser protegidas por la erosión y no se recomienda mantenerlas abiertas no más de 2 días.

5.5.3 RELLENOS

En el caso de realizar rellenos, se deberá utilizar material de tipo para Relleno Estructural (704.04 del CR-2010) o Préstamo Selecto (704.07 del CR-2010) y respetar la siguiente recomendación:

Tabla 17: Recomendaciones de Pendientes en Rellenos

| Altura Relleno | Rango | |
|----------------|---------|---------|
| | Desde | Hasta |
| Menor a 5m | 1.5H:1V | 1.8H:1V |
| > 5 m | 1.8H:1V | 2H:1V |

Los rellenos deberán realizarse siempre con procesos de compactación estructural, en capas de 20cm máximo y a un 95% del Proctor estándar.

Al igual que en los cortes, se deberán considerar controles de saturación, evitando exponer el material a periodos de lluvia intensa, ni a proceso de erosión. Por lo que se recomienda que los mismos consideren la siembra de vegetación de rápido crecimiento o enrocados de protección a la erosión como acabado final y el uso de materiales plásticos para la protección durante el proceso constructivo. No se recomienda mantener rellenos de materiales sueltos en la zona de proyecto.

5.6 CONCLUSIONES GEOTÉCNICAS:

Luego de realizado el análisis de toda la información recopilada para el presente estudio geotécnico, se puede concluir lo siguiente:

Al cabo de toda la información recopilada y analizada, se puede concluir que:

- i. El terreno está conformado por 1 capa producto de depósitos aluviales que tiene como efecto suelos de consistencias entre bajas a medias en los primeros 2 m de la margen izquierda.
- ii. En el sitio de exploración se detectó nivel freático estacionario a 1,80m de profundidad, se debe aclarar que esta condición puede variar de acuerdo a la estación del año.
- iii. La cimentación podrá realizarse por cimentación superficial, con desplante en los primeros 2,00m y una capacidad de soporte admisible de hasta 300 ton/m² emplazada directamente sobre la roca.
- iv. Los asentamientos **NO** requieren ser considerados como elemento determinante en el diseño de las estructuras, ya que en general se recomienda la cimentación sobre el estrato rocoso no deformable.

6 DISCUSIÓN SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO:

6.1 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS

El análisis efectuado en el presente estudio considera que se desarrollará el proyecto especificado por el cliente. En caso de que el proyecto sea modificado, será necesario verificar la aplicabilidad de las recomendaciones dadas.

6.2 INCERTIDUMBRES NO RESUELTAS

Con respecto a los grados de incertidumbre del Estudio Geotécnico, es importante destacar que las perforaciones son ensayos puntuales, y por consiguiente brindan información sobre las condiciones específicas detectadas en este punto y a la profundidad máxima alcanzada por el método de exploración. A pesar de esta limitación, con base en las perforaciones que se realizan, que cubren de manera adecuada el Bulbo de Presiones y el conocimiento de la zona, es posible tener conocimiento de las condiciones geotécnicas existentes que permiten desarrollar un modelo

geotécnico para brindar los datos de capacidad soportante necesarios para el diseño de la cimentación.

6.3 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD GEOTÉCNICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.

Con base en todo lo indicado anteriormente se emiten las recomendaciones geotécnicas que cumplen para la construcción del proyecto Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña, el que no debe de presentar problemas siempre y cuando se sigan las recomendaciones dadas anteriormente.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Dirección General de Carreteras. 2002. Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras. Ministerio de Fomento de España. Madrid, España.
- 6° Simposio Nacional. Geotecnia Ambiental y Mejora del Terreno. Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. Madrid, España.
- Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 2009. Código de Cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. 2003. Código Sísmico de Costa Rica 2002. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Dass, Braja M. 2001. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Editorial Thomson. Estados Unidos.
- Denyer, P. y Alvarado, G.; (2007). Mapa Geológico de Costa Rica, (2007). Escala 1: 400 000.
- González de Vallejo, Luis I. 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Madrid, España.
- Rodríguez, José María; Serra, Jesús; Oteo, Carlos. 1980. Curso Aplicado de Cimentaciones. E.T.S.A.M. Madrid, España.
- Salinas Rodríguez, José Luis. 2004. Diccionario guía de Reconocimientos Geológicos para Ingeniería Civil. CEDEX. Madrid, España
- Astorga, A., Fernández, J., Barboza, G., Campos, L., Obando, J., Aguilar, A., & Obando, L. (6-9 de Marzo de 1989). Symposium on the energy and mineral potential of the Central American - Caribbean region. Sedimentary basins of Costa Rica: Upper Mesozoic - Upper Cenozoic. Evolution and hydrocarbon potential. San José, Costa Rica.
- Fernández, A., Bottazzi, G., Barboza, G., & Astorga, A. (1994). Tectónica y estratigrafía de la cuenca Limón sur. Revista Geológica de América Central, 15-28.

- Montero, W., Camacho, E., Espinosa, A., & Boschini, I. (1994). Sismicidad y marco neotectónico de Costa Rica y Panamá. Revista Geológica de América Central, 73-82.
- Red Sismológica Nacional. (27 de Noviembre de 2014). Fallas Activas. Obtenido de Red Sismológica Nacional: <https://rsn.ucr.ac.cr/actividad-sismica/fallas-activas>
- Wells, D., & Coppersmith, K. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, 974-1002.
- Dondoli, C., & Torres, A. (1954). Estudio geagrómico de la región oriental de la meseta central. San José: Ministerio de Agricultura e Industria.
- Echeverría, J. (1960, IX 18). Aguacaliente cementerio de mastodontes. La Nación, p. 12.
- Krushensky, R. (1972). Geology of the Istaru Quadrangle, Costa Rica. Geological Survey Bulletin, iv-46.
- Montero, W., & Kruse, S. (2006). Neotectónica y geofísica de la Falla Aguacaliente en los valles Coris y El Guarco, Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 43-58.
- Quintanilla, E., Alvarado, E., Marín, C., & Durán, M. (2008). Estratigrafía de pozos como un aporte al conocimiento de la geología del Cuaternario del Valle de el Guarco (Cartago), Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 53-64.
- Red Sismológica Nacional. (2014, Julio 3). Artículos: Falla Aguacaliente. Retrieved from Red Sismológica Nacional: <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/2147-falla-aguacaliente?Itemid=225>
- Tristan, J. (1920). Notas sobre un vertebrado fósil en Aguacaliente de Cartago. Revista Geológica de América Central, 337-340.
- Valerio, A., & Laurito, C. (2004). Paleofauna de Aguacaliente de Cartago, Costa Rica. Parte I: Equus cf. E. conversidens Owen, 1869. Revista Geológica de América Central, 87-92.
- ALVARADO, G. E., MORALES, L. D., MONTERO, W., CLIMENT, A. & ROJAS, W., 1988: Aspectos sísmológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. –Rev. Geól. Amér. Central, 9: 75-98.
- BARQUERO, R. 2009: El terremoto de Cinchona del 8 de enero del 2009. -138 págs. Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR), San José [Informe Técnico].
- BORGIA, A., BURR, J., MONERO, W., MORALES, L. D. & ALVARADO, G. 1990: Fault propagation folds induced by gravitational failure and slumping of the Costa Rica Volcanic Range: Implications for large terrestrial and Martian edifices. –J. Geophys. Res. 95: 14357-14382.
- CASTILLO, R. & KRUSHENSKY, R. D., 1977: Mapa geológico y corte transversal de la Hoja Abra, CR. – U. S. Geol. Survey-MEIC, escala 1: 50 000.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1990: Mapa Geológico de la Hoja Abra, escala 1:50000, IGN.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. – Rev. Geól. América Central, 12: 1 -59.
- FERNÁNDEZ, M. & MONTERO, W., 2002: Fallamiento y sísmicidad entre Cartago y San José. – Rev. Geol. Amér. Central, 26: 25-37.

- FERNÁNDEZ, M. & PACHECO, J., 1997: Sismotectónica de la región central de Costa Rica. -Rev. Geol. Amér. Central., 21: 8 – 20
- MONTERO, W., 1994: Sismicidad y neotectónica. – Atlas Geológico Gran Área Metropolitana. – Ed. Tecnológica de Costa Rica: 147-160.
- MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO, G.E., COWAN, H., MACHETTE, M., HALLER, K. & DART, R., 1998: Map and database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. - Reporte preliminar de USGS.
- MONTERO, W., MADRIGAL, R., SEELEY, M., ALT, J., & CLINE, M., 1989a: Lineaments suggestive of recent fault activity, escala 1: 50000 [Mapa inédito].
- MONTERO, W. & ALVARADO, G., 1995: El temblor de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms = 5,9) y el contexto neotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. –Rev. Geol. América Central, 18: 25-42.
- MONTERO, W., 2000: Sismología y Neotectónica, Editores P. Denyer y S. Kussmaul, Geología de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 219-239.
- MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá. – Rev. Geológica de América Central (24): 29-56. San José, Costa Rica.
- MONTERO, W., BARAHONA, M., ROJAS, W. & TAYLOR, M., 2005: Los sistemas de falla Agua Caliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica. – Rev. Geól. Amér. Central, (33): 7-27.
- MORA C., S., 1985: Las laderas inestables de Costa Rica. –Rev. Geól. Amér. Central (3): 129-161.
- PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 Ma) del Valle Central de Costa Rica. – 170 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- Pérez, W., Alvarado, G.E. & Gans, P., 2006: The 322 ka Tiribí Tuff: stratigraphy, geochronology and mechanisms of deposition of the largest and most recent ignimbrite in the Valle Central, Costa Rica. – Bol. Vulcanol., 69: 25 - 40.
- WELLS, D. & COPPERSMITH, K., 1994: New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. - Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 4: 974-1002.
- WOODWARD & CLYDE, 1993: A preliminary evaluation of earth quake and volcanic hazards significant to the major population centers of Valle Central, Costa Rica. -89 págs. Woodward-Clyde Federal services, Maryland [Informe interno].

8 ANEXOS:

- Anexo 1: Mapas de Ubicación
- Anexo 2: Perfil geotécnico
- Anexo 3: Registros de perforación
- Anexo 4: Informe de estudio geofísico
- Anexo 5: Caracterización de los suelos

ANEXO 1
MAPAS DE UBICACIÓN





CROQUIS DEL SITIO APROXIMADO



CONSULTORES
INGENIERIA • INSTRUMENTACION • GEOTECNIA
Ing. Alicia Alpar Barquero, M.Sc.
C-16753
EJ 203-12

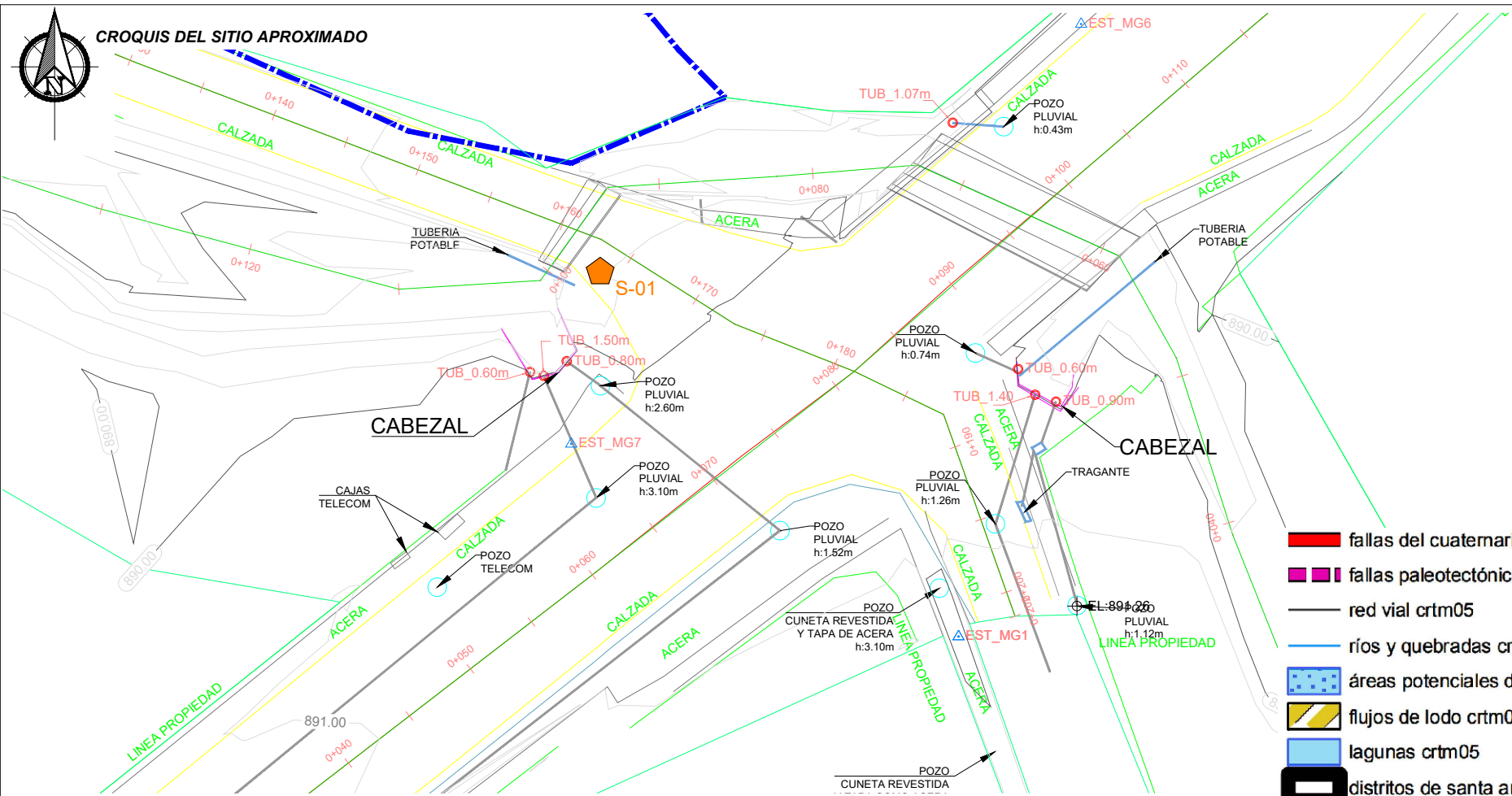
PROYECTO:
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
PUENTE VEHICULAR A DOS
CARRILES Y PASO PEATONAL
SOBRE QUEBRADA CARAÑA

CLIENTE:
INGENIERIA TECNICA DE
PROYECTOS ITP

DISTRITO: PIEDADES
CANTON: SANTA ANA
PROVINCIA: SAN JOSE

CONTENIDO:
PLANO DE UBICACION

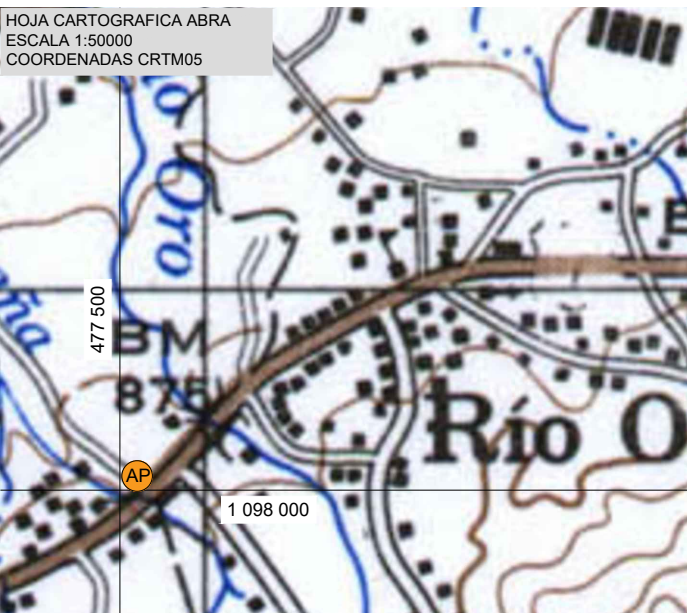
FECHA: DICIEMBRE 2022
HOJA: 1/1
OBRA: CONSECUTIVO:
2710 INF-GEO-077-2022



SIMBOLOGIA
(S) SONDEO GEOTECNICO

- fallas del cuaternario crtm05
- fallas paleotectónicas crtm05
- red vial crtm05
- ríos y quebradas crtm05
- áreas potenciales de inundaciones crtm05
- flujos de lodo crtm05
- lagunas crtm05
- distritos de santa ana crtm05

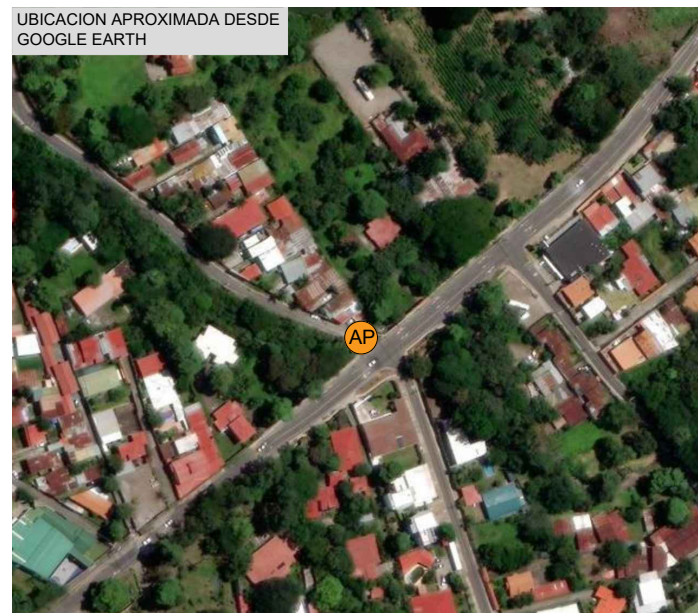
HOJA CARTOGRAFICA ABRA
ESCALA 1:50000
COORDENADAS CRTM05



MAPA DE AMENAZAS NATURALES
POTENCIALES HOJA SANTA ANA (CNE)
ESCALA 1:500000 COORDENADAS CRTM05



UBICACION APROXIMADA DESDE
GOOGLE EARTH



ANEXO 2
PERFIL GEOTÉCNICO





CONSULTORES
 INGENIERÍA • INSTRUMENTACIÓN • GEOTECNIA
 Ing. Alicia Alpiar Barquero, M.Sc.
 CI-16953
 CI 203-12

PROYECTO:
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTE VEHICULAR A DOS CARRILES Y PASO PEATONAL SOBRE QUEBRADA CARAÑA

CLIENTE:
INGENIERIA TECNICA DE PROYECTOS ITP

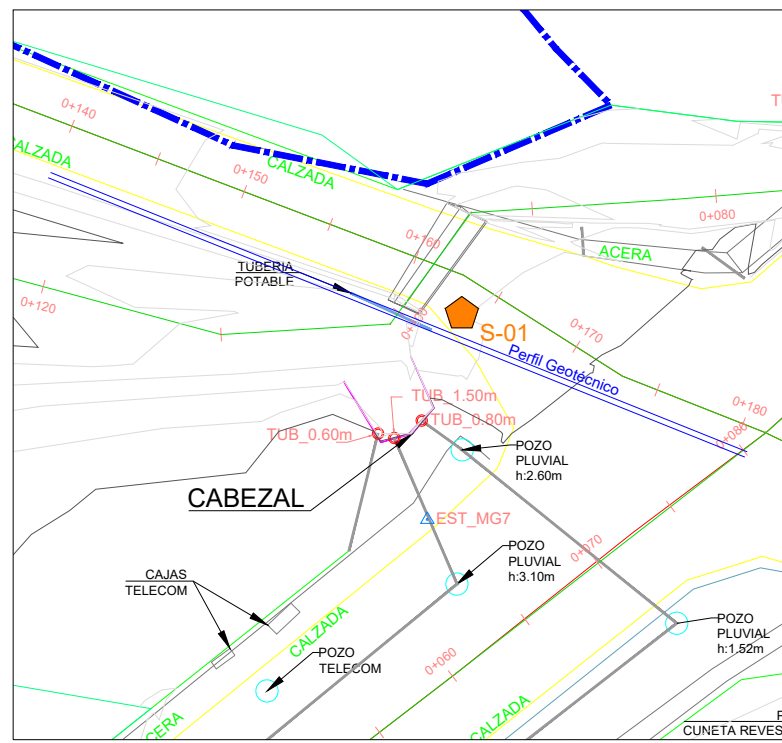
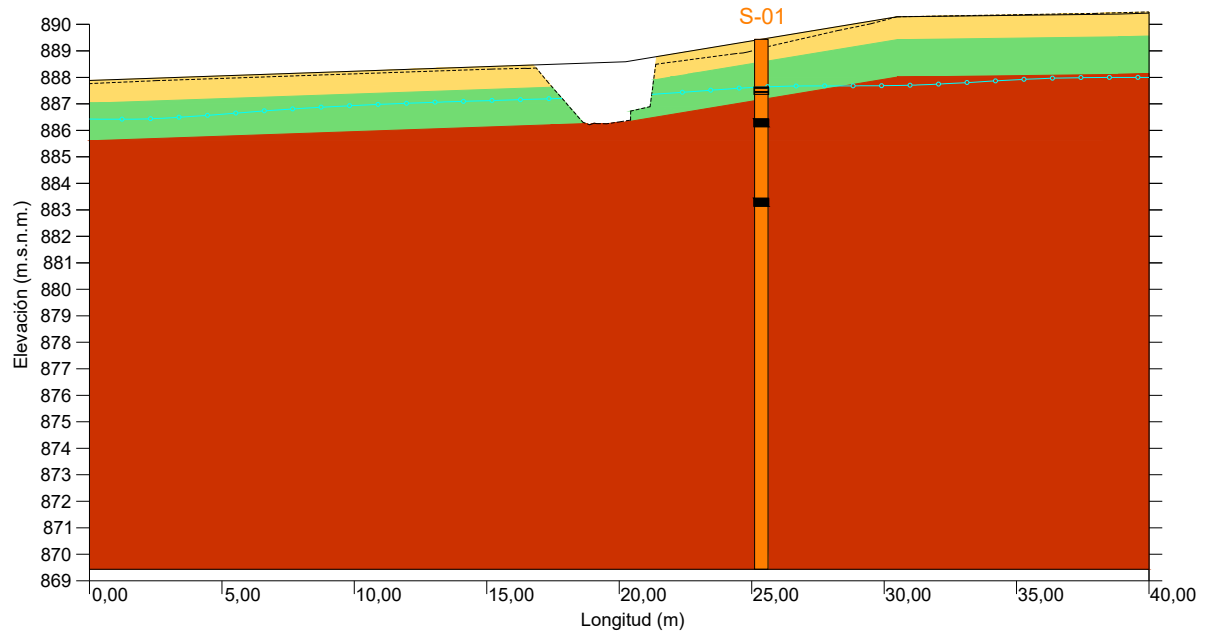
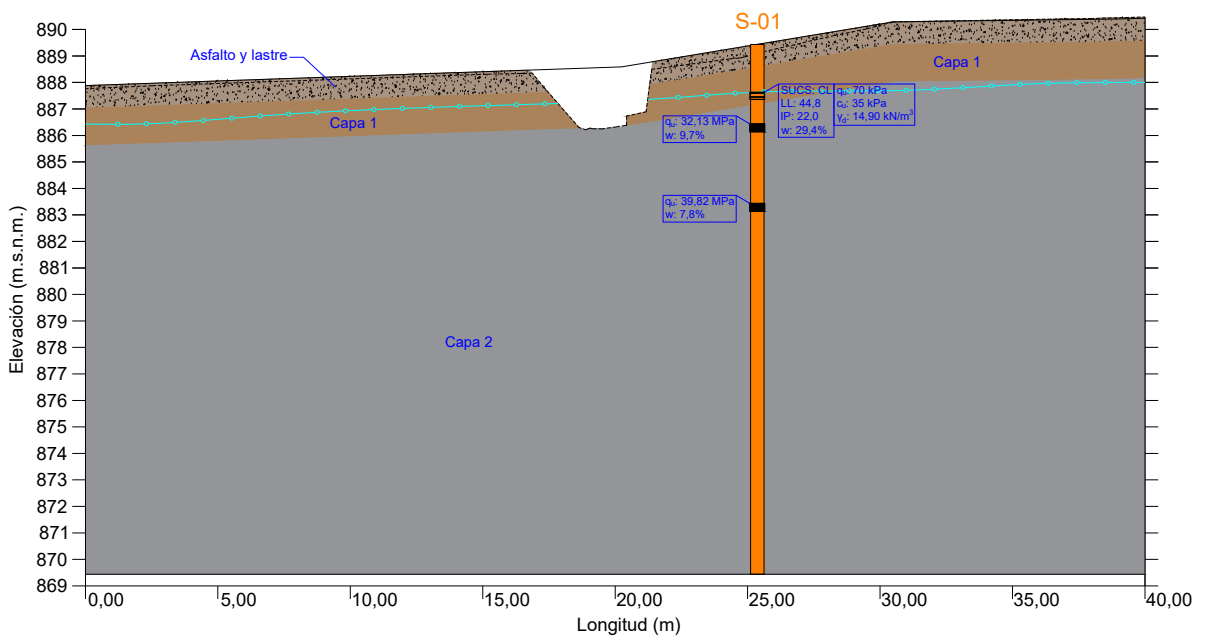
DISTRITO: **PIEDADES**
 CANTON: **SANTA ANA**
 PROVINCIA: **SAN JOSE**

CONTENIDO:
PERFILES GEOTECNICOS

FECHA: **DICIEMBRE 2022** HOJA: **1/1**
 OBRA: **2710** CONSECUTIVO: **INF-GEO-077-2022**

- SIMBOLOGIA**
- W CONTENIDO DE HUMEDAD
 - LL LIMITE LIQUIDO
 - IP INDICE DE PLASTICIDAD
 - SUCS CLASIFICACION DE SUELOS
 - γ_d DENSIDAD SECA
 - q_c RESISTENCIA A LA COMPRESION

| Consistencia | SPT: N°de golpes/50cm |
|--------------|-----------------------|
| Muy Blanda | 0 - 2 |
| Blanda | 3 - 5 |
| Media | 6 - 15 |
| Firme | 15 - 25 |
| Muy Firme | > 26 |



ANEXO 3
REGISTROS DE PERFORACIÓN





CLIENTE: Ingeniería Técnica de Proyectos
 OBRA: 2710
 UBICACIÓN: Santa Ana, San José, Costa Rica
 FECHA INICIO: 03/12/2022
 FECHA FINAL: 03/12/2022

COORDENADAS: X: 477 533.00
 Y: 1 097 987,86
 Z: 889,40 M.S.N.M.

SONDEO: S-01
 FOLIO: 1/2

| ESCALA | REVESTIMIENTO | PERFORACIÓN | PROFUNDIDAD (m) | ESPESOR | ESTRATIGRAFIA | DESCRIPCIÓN | NIVEL FREÁTICO | RECUPERACIÓN (%) | MUESTRA | GOLPES | N SPT | GRANULOMETRIA | HUMEDAD (%) | LÍMITES DE ATTERBERG | | | CLASIFICACIÓN SUCS | GRAVEDAD ESPECÍFICA Gs | CORTE DIRECTO | | COMPRESIÓN SIMPLE | | EDOMETRIA | | | PRESIÓN DE HINCHAMIENTO | COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA (KPa) | POROSIDAD (%) | SULFATOS | MATERIA ORGÁNICA | TRIAxIAL | | | | | |
|--------|---------------|-------------|-----------------|---------|---------------|---|----------------|------------------|---------------|--------|-------|-------------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------------|------------------|-----------|----|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|----------|------------------|----------------|------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD | | | COHESIÓN (KPa) | ÁNGULO DE FRICCIÓN (°) | q _v (KPa) | DEFORMACIÓN (mm) | Cc | Cs | DENSIDAD SECA (kN/m ³) | | | | | | COHESIÓN (KPa) | ÁNGULO DE FRICCIÓN (°) | | | | |
| 1 | 113W | 113W | 0,60 | 0,60 | | Asfalto (0,10 m) y lastre. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | MI | MI | 2,12 | 1,52 | | Suelo arenoso gravoso a fino arcilloso con grava producidos de la meteorización de la ignimbrita. | 1,80 | | MI 01 2,12 | | | 14,6% 28,4% 57,0% | 29,4 | 44,8 | 22,8 | 22,0 | CL | | | | | 70 | 7,98 | | | 14,90 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | MP 01 3,30 | | | | 9,7 | | | | | | | | | | | | | 32 130 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | Roca: Ignimbrita con una textura fluidal con matriz de color gris a gris violácea hacia la base de la perforación, soldada y con vesículas. | | | MP 02 6,00 | | | | 7,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | Contiene flammes centimétricos color negro y otros que meteorizan a colores amarillos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | Se observan cristales de plagioclasas idiomórficas milimétricas y pómez milimétricas a centimétricas de colores blancos y amarillentos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | Líticos no juveniles negros, posiblemente de lavas de tamaños milimétricos a centimétricos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 86D | | | 17,88 | | Escorias de color gris oscuro centimétricas. La matriz es color gris de grano medio. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | Los productos de meteorización son péizas milimétricas de la matriz y alteración de las plagioclasas y pómez. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | La distribución composicional resultante es de 50% matriz, 30% líticos no juveniles, 5% pómez, 5% escorias y 10% flammes. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | De 19 m a 30 m la roca presenta meteorización asociada a hidratación, posiblemente por influencia de un nivel de agua subterránea. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

TUBERIA PIEZOMETRICA: NO
 FECHA MEDICION NIVEL FREÁTICO: 03/12/2022
 SONDISTA: JORGE VEGA DOMINGUEZ
 SONDA: TP-50-2
 DIRECTORA TECNICA: ING. ALICIA ALPIZAR BARQUERO

ENSAYOS REALIZADOS SEGUN NORMAS:
 ASTM D2216 Determinación del contenido de humedad de suelo y rocas
 ASTM D4318 Determinación de los límites de Atterberg
 ASTM D6913 Análisis granulométrico (por medio de tamizado)
 ASTM D2166 Compresión inconfiada de suelos
 ASTM D7012 (UNE 22-950) Compresión inconfiada de nucleos de roca

SIMBOLOGIA

| Consistencia | SPT: N°de golpes/50cm |
|--------------|-----------------------|
| Muy Blanda | 0 - 2 |
| Blanda | 3 - 5 |
| Media | 6 - 15 |
| Firme | 16 - 25 |
| Muy Firme | > 26 |

| Compacidad | SPT: N°de golpes/50cm |
|------------|-----------------------|
| Muy Suelta | 0 - 4 |
| Suelta | 5 - 10 |
| Media | 11 - 30 |
| Densa | 31 - 50 |
| Muy Densa | > 51 |

ESTRATIGRAFIA

- Carpetas Asfáltica
- Material de relleno
- Hormigón
- Materia orgánica
- Arcillas
- Limos
- Arenas
- Gravas
- Roca

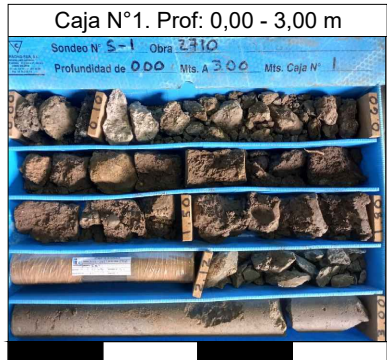
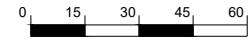


CLIENTE: Ingeniería Técnica de Proyectos
OBRA: 2710
UBICACION: Santa Ana, San José, Costa Rica
FECHA INICIO: 03/12/2022
FECHA FINAL: 03/12/2022

COORDENADAS: X: 477 533,00
Y: 1 097 987,86
Z: 889,40 M.S.N.M.

SONDEO:
S-01

FOLIO: 2/2



Ubicación de la prueba



Foto panorámica del sitio

ANEXO 4
ESTUDIO GEOFÍSICO





Fecha: Diciembre, 2022
No. Informe: INF-22-145
Cliente: IIG Consultores S.A.
Referencia: COT-22-145



Perfil:
529.00

Estudio geofísico - Refracción sísmica
Proyecto: Alcantarilla
Piedades, Santa Ana, San José

Señora:

Ing. Alicia Alpízar
Presidenta
IIG Consultores S.A.

Estimada Ingeniera:

Me complace presentarle el informe "Estudio geofísico – Refracción sísmica – Proyecto: Alcantarilla". Sitio ubicado en Piedades, Santa Ana, San José.

Sin más por el momento y quedando en la mejor disposición de comentar el contenido de la información presentada, se despide,

Atentamente,



Ing. Danilo A. Jiménez Ugalde, M.Sc.

CONTENIDO

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. Introducción | 3 |
| 1.1. Ubicación | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 2. Metodología de trabajo | 5 |
| 2.1. Refracción sísmica | 5 |
| 2.2. Equipo utilizado | 6 |
| 3. Resultados obtenidos | 8 |
| 4. Referencias | 10 |
| 5. Anexos | 11 |

1. Introducción

La empresa IIG Consultores S.A. se encuentra ejecutando la prospección para una alcantarilla localizada en Santa Ana, San José.

Uno de los trabajos asociados a las investigaciones del terreno corresponde al estudio geofísico del sitio de emplazamiento del proyecto. Esta investigación fue realizada utilizando la técnica de refracción sísmica.

En el siguiente informe se describe el trabajo geofísico realizado, incluyendo una breve descripción de la metodología y los resultados obtenidos.

1.1. Ubicación

En la Figura 1.1 se presenta la ubicación general de los sitios estudiados, los cuales se localizan en el distrito Piedades, cantón de Santa Ana, provincia San José. En la Tabla 1.1 se presentan las coordenadas CRTM05 del perfil estudiado.

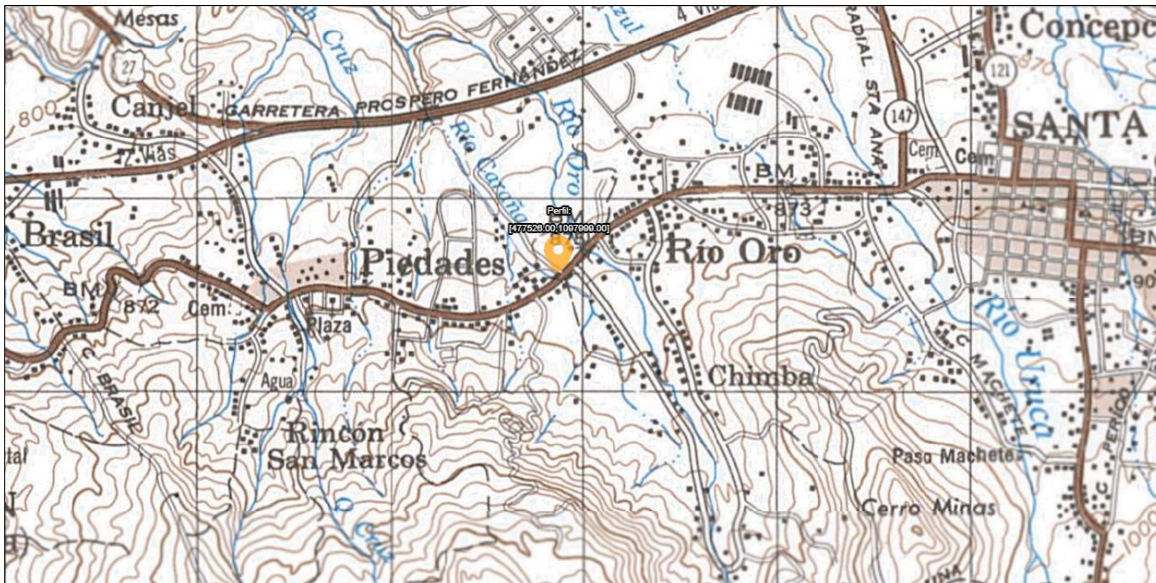


Figura 1.1. Ubicación del sitio estudiado. Fuente: Hoja Abra, escala 1:50 000, IGN.

Tabla 1.1. Coordenadas CRTM05 del perfil sísmico.

| Perfil | Método | Inicio - G01 | | Fin - G12 | |
|--------|------------|--------------|---------|-----------|---------|
| | | Este | Norte | Norte | Norte |
| P-1 | Refracción | 477472 | 1098013 | 477526 | 1097999 |

1.2. Objetivos

Los objetivos del presente estudio fueron los siguientes:

- Elaborar el perfil de refracción sísmica, paralelo a la calzada, en cada uno de los lados de la intersección.
- Obtener los valores de velocidad de ondas sísmicas del subsuelo (V_p y V_s).
- Correlacionar el valor de N_{SPT} a partir de los resultados de las prospecciones geofísicas .
- Determinar la aceleración pico efectiva de diseño.

2. Metodología de trabajo

2.1. Refracción sísmica

La refracción sísmica fue ejecutada siguiendo el procedimiento presentado en la norma ASTM D5777 y el método sugerido por la ISRM (2004).

El método de refracción sísmica se basa en los siguientes supuestos:

- Según la naturaleza del terreno varía la transmisión-velocidad de propagación de las ondas elásticas.
- Los contactos entre los estratos con diferente velocidad de transmisión de las ondas sísmicas (por cambios en la densidad del medio), definen superficies de separación donde las ondas experimentan fenómenos de refracción. Esto permite determinar la profundidad a la que aparecen nuevas capas.

De acuerdo a Telford et al. (1990), la refracción consiste en generar de manera artificial ondas sísmicas que se transmiten a través de las distintas capas, de manera que una serie de receptores o geófonos son ubicados en superficie de manera colineal, estableciéndose un registro de arribos de ondas refractadas a lo largo del perfil estudiado (Figura 2.1).

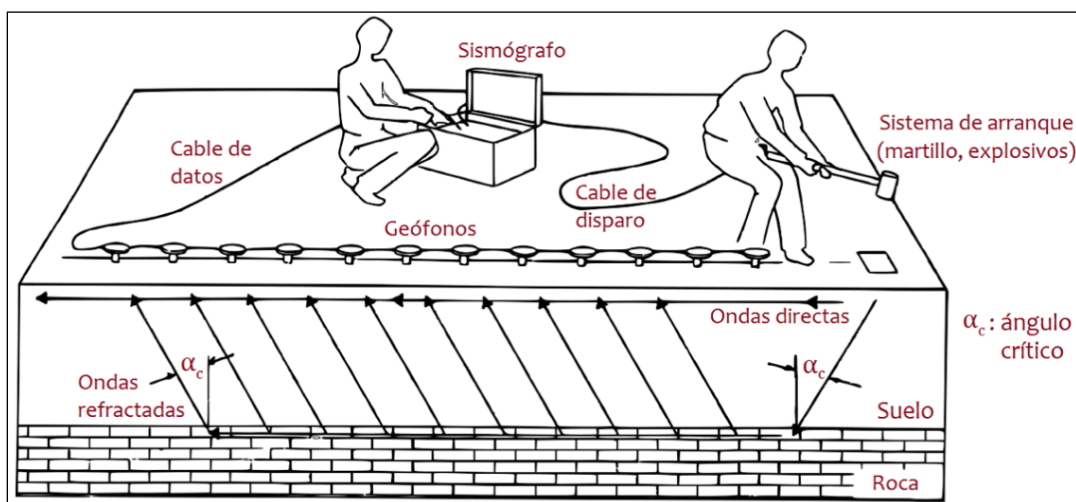


Figura 2.1. La imagen muestra la forma en que las ondas sísmicas generadas por una fuente de energía mecánica, alcanzan el ángulo de refracción total desplazándose a través de la interface entre rocas y como sus ondas son registradas posteriormente por los geófonos. Fuente: Arias y Mendoza (2017).

Fueron prospectados dos perfiles de 55 m en el área de interés. En el estudio se utilizaron perfiles compuestos por 12 geófonos de 4.5 Hz, proporcionados por el fabricante, con una separación 5 m. Fueron utilizados 3 puntos de disparo por perfil, ubicados entre los geófonos 1-2, 6-7 y 11-12.

A partir de los registros sísmicos obtenidos, se construyeron los gráficos de tiempo distancia (dromocrónicas, ver Figura 2.2). Mediante rutinas matemáticas incorporadas en el software utilizado para la interpretación de los ensayos (Seisimager), se realizó la interpretación de los perfiles sísmicos, definiendo las velocidades de propagación de la onda P (onda compresional, V_p), velocidad de la onda S (onda de cizalle, V_s) y la profundidad de cada una de las capas que conforma el modelo geofísico del sitio.

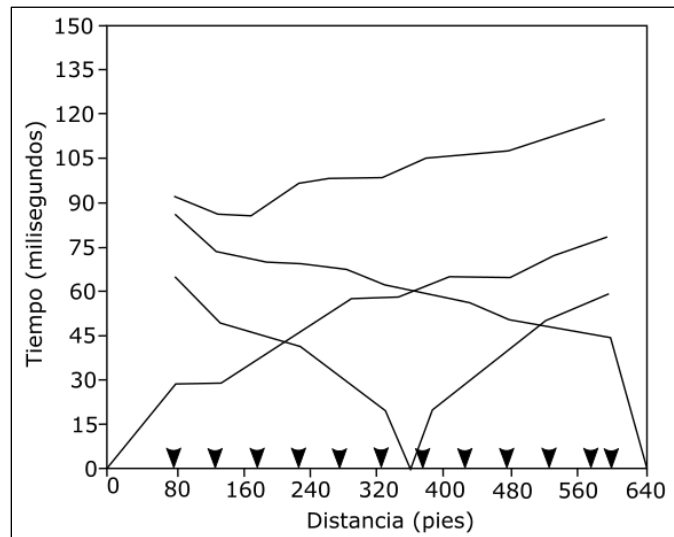


Figura 2.2. Dromocrónicas (Adaptado de ASTM D5777).

2.2. Equipo utilizado

El dispositivo utilizado para la investigación consiste de un equipo de registro de ondas sísmicas RAS-24, utilizado tanto para refracción como para reflexión, de la casa matriz SEISTRONIX (Figura 2.3 y Tabla 2.1).



Figura 2.3. Equipo de adquisición sísmica RAS-24.

Tabla 2.1. Características principales del módulo RAS-24.

| Características del RAS-24 | |
|--|---|
| Número de canales: | 24 por Módulo RAS |
| Intervalo de Muestreo | 125, 25, 3, 1, 2 y 4 ms |
| Longitud de captura de datos | 4 ms - 64 sec, 2 ms - 32 sec, 1 ms - 16 sec, 0.5ms - 8 sec, 0.25 ms - 4 sec, .125 ms - 2 sec |
| Operación CDP: | 2D: rotación automático o manual de la configuración de geófonos |
| Apilamiento: | Vertical |
| Formato de captura: | SEG-2, SEG-D 8038, SEG-D 8058 |
| Canales: | 24 |
| Resolución A/D: | 24 bits usando convertidores Delta-Sigma A/D - uno por canal |
| Pre-amplificación para la ganancia (PG): | 12db, 24db, 36db or 48db, remotamente seleccionable |
| Respuesta de frecuencia: | .125ms: 2- 3300 Hz, .25 ms: 2 - 1650 Hz., .5 ms: 2 - 825 Hz, 1 ms: 2 - 412 Hz, 2 ms: 2 - 206 Hz, 4 ms: 2 - 103 Hz |
| Rango dinámico: | 112db @ 2 ms PG=36db, 117db @ 2 ms PG=12db (typ) |
| Distorsión: | 005% at 25 Hz, 2 ms intervalo de muestreo (typ) |
| Crosstalk: | Mayor a 90db |
| CMR: | Mayor a 90db @ 60 Hz |
| Señal de entrada máxima: | 880 mVRMS @ 12db, 55 mVRMS @ 36db |
| Ruido de entrada: | .21 mVRMS a 2ms PG=36db, 16 mVRMS @ 2ms PG=12db (typ) |
| Filtros Anti-Alias: | 4 ms 103 Hz, 2 ms 206 Hz, 1 ms 412 Hz, .5 ms 825 Hz, .25ms 1650 Hz, .125ms 3300 Hz |
| Conectores | Dos conectores 27-pin NK-27-21C para la configuración completa de geófonos, 3-pin Bend's para el trigger, tres 6-pin Bendk para datos, 3-pin Cannon para energía. |
| Potencia: | 2 volts nominal. Standby: 60ma / Acquisition: 24 Chs 2A |

3. Resultados obtenidos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir las prospecciones realizadas (ver Figura 3.1).

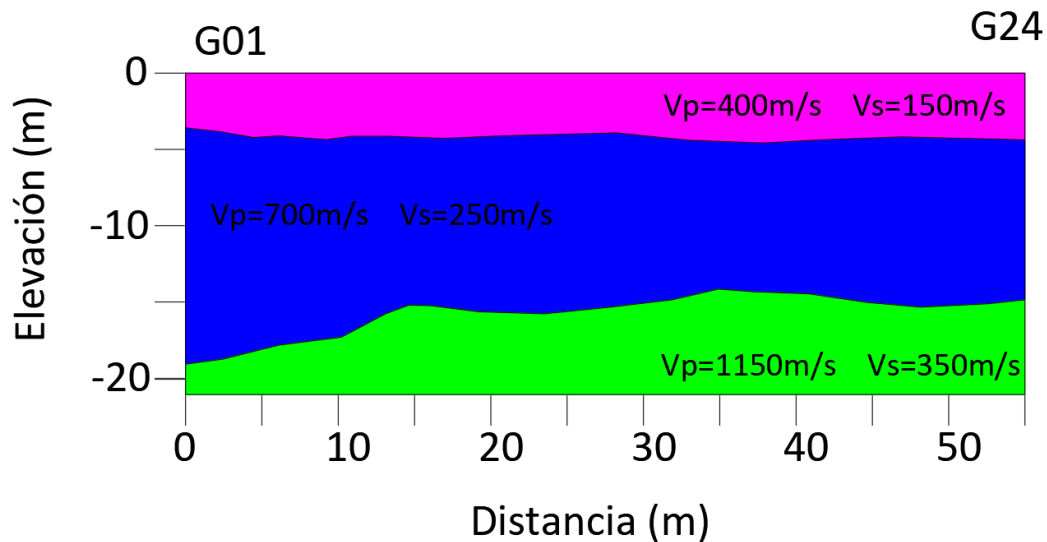


Figura 3.1. Modelo de capas según la refracción sísmica.

Con base en los resultados obtenidos de las prospecciones geofísicas, se presentan en la Tabla 3.1 los principales parámetros geofísicos medidos, así como los parámetros geotécnicos derivados.

Tabla 3.1. Parámetros medidos y derivados a partir de los ensayos geofísicos.

| Parámetro geofísico medido | Símbolo | Unidad | Capa | | |
|--------------------------------|---------|--------|------|-----|------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Velocidad de onda compresional | V_p | m/s | 400 | 700 | 1150 |
| Velocidad de onda secundaria | V_s | m/s | 150 | 250 | 350 |
| Espesor de la capa | h | m | 4 | 15 | 11 |

| Parámetro geotécnico derivado (Tezcan et al, 2009) | Símbolo | Unidad | Capa | | |
|--|-------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Peso específico | γ | kN/m ³ | 14.31 | 16.46 | 18.63 |
| Parámetro de Poisson | ν | Adim. | 0.42 | 0.43 | 0.45 |
| Módulo de cizalle máximo | G | MPa | 33 | 105 | 233 |
| Módulo eodométrico | E_c | MPa | 233 | 822 | 2512 |
| Módulo de Young | E | MPa | 93 | 299 | 674 |
| Módulo de Bulk | K | MPa | 190 | 682 | 2202 |
| Capacidad de soporte última | q_{ult} | kPa | 215 | 411 | 652 |
| Número de golpes SPT | N_{SPT} | Adim. | 7 | 17 | 33 |
| Coefficiente de balastro | k_s | kN/m ³ | 8587 | 16460 | 26089 |
| Velocidad cortante promedio de los primeros 30 m | $V_{s(30)}$ | m/s | 254 | | |

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos geofísicos y la zonificación sísmica para Costa Rica presentada en la Figura 3.2 (CFIA, 2014), fue definido el tipo de sitio de cimentación siguiendo metodología propuesta en CFIA (2014) y CFIA (2013). En la Tabla 3.2 la zonificación sísmica, tipo de sitio y la aceleración pico efectiva (a_{ef}) según CFIA (2014), el coeficiente sísmico espectral para periodos cortos y largos (C_a y C_v) según CFIA (2013) y el coeficiente pseudoestático según ACG (2015).

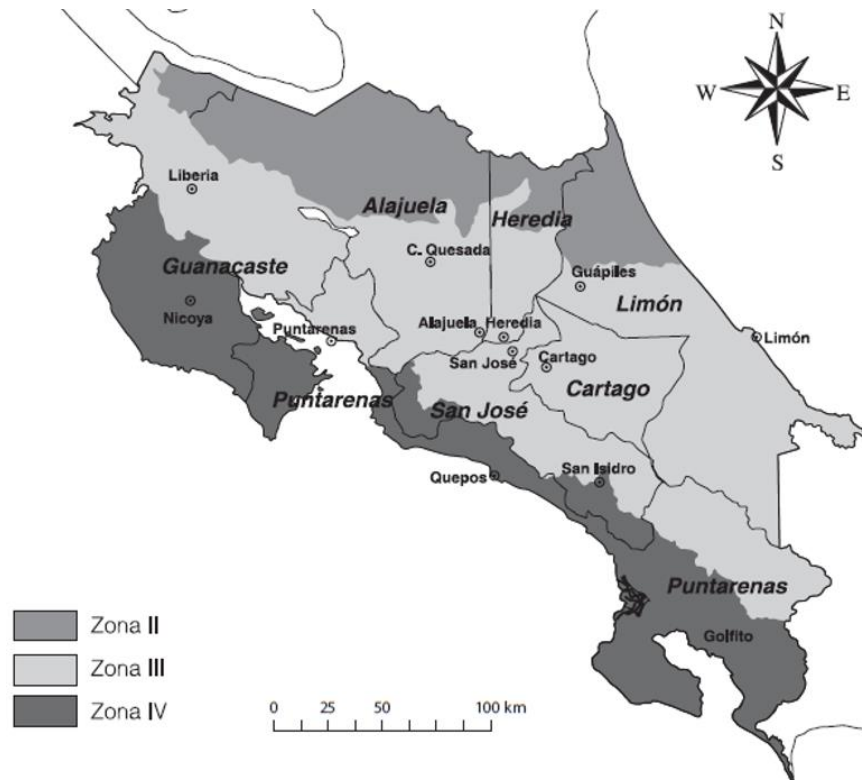


Figura 3.2. Zonificación sísmica de Costa Rica. Fuente: CFIA (2014).

Tabla 3.2. Coeficientes sísmicos definidos con base en los ensayos geofísicos.

| Parámetro | Zona sísmica | Tipo de sitio | a_{ef} | C_a | C_v | k_h |
|------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|-------|------------|
| Fuente | CFIA (2014, 2013) | | CFIA (2014) | CFIA (2013) | | ACG (2015) |
| Valoración | III | S_3 | 0.360 | 0.410 | 0.605 | 0.200 |

4. Referencias

- Arias, J., Mendoza, N. 2017. Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación V_p/V_s para depósitos superficiales de ceniza volcánica en Manizales Colombia. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n32/a17v38n32p22.pdf> [Consulta: 04 de octubre del 2018].
- Asociación Costarricense de Geotecnia (ACG). 2015. Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica. Ed. Tecnológica. Cartago, Costa Rica.
- ASTM D5777. 1995. Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). 2014. Código sísmico de Costa Rica. Ed. Tecnológica. Cartago, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). 2013. Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. LanammeUCR. San Pedro, Costa Rica.
- ISRM. 2004. Suggested Methods for land geophysics in rock engineering. Int. J. Rock Mech. & Mining Sciences 41: pp 885-914.
- Telford, W., Geldart, L., Sheriff, R. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Tezcan, S.S., Ozdemir, Z., Keceli, A. 2009. Seismic technique to determine the allowable bearing pressure in soils and rocks. Acta Geophysica 57(2): pp 400-412.

5. Anexos

Fotografías de los trabajos de campo



ANEXO 5
CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS





INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO IIG

CLIENTE: Ingeniería Técnica de Proyectos ITP
PROYECTO: Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña
Obra: 2710
FECHA: viernes, 16 de Diciembre de 2022
ATENCIÓN: Ing. Sergio Fernández
San José

INFORMACIÓN DEL ORIGEN DE LAS MUESTRAS

PROCEDENCIA: Santa Ana, San José
TIPO DE MUESTRO: Realizado por el cliente
 Realizado por personal de IIG Consultores
TIPO DE MUESTRA: Alterada
 Inalterada
OBSERVACIONES:
FECHA DE MUESTREO: sábado, 03 de Diciembre de 2022
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO: jueves, 08 de Diciembre de 2022

INFORMACIÓN DE ENSAYOS EJECUTADOS

| CÓDIGO | NORMA | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|--------|------------|---|----------|
| ES-01 | ASTM D2216 | ES-01 LG-01 Determinación del contenido de humedad | 3 |
| ES-04 | ASTM D2487 | ES-04 LG-02.1 Clasificación unificada de Suelos según SUCS | 1 |
| ES-12 | ASTM D2166 | ES-12 LG-12 Resistencia a la compresión confinada de suelos | 1 |
| - | ASTM D7012 | LG-15.1 Compresión confinada de núcleos de roca | 2 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Nota: Se adjuntan las actas de resultados de cada uno de los ensayos descritos en cuadro superior para cada muestra referenciada

FECHA INICIAL DE ENSAYOS: jueves, 08 de Diciembre de 2022
FECHA FINAL DE ENSAYOS: viernes, 16 de Diciembre de 2022

*** Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento, sin previa autorización de IIG CONSULTORES***

GESTION OPERATIVA
Ing. Carolina Torres Mata



ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS



IIG LABORATORIO

PAVAS, SAN JOSÉ, COSTA RICA
TELFAX. (506) 22322323
WhatsApp. (506) 87460652
CÉD- 3-101-667-662



CLIENTE

Ingeniería Técnica de Proyectos

Ing. Sergio Fernández

Transversal 72, contiguo a Repretel, La Uruca, San José, Costa Rica.

N° de Acta

2022/1710

16 de December de
2022

N° DE OBRA 2710

PROYECTO Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña
Santa Ana, San José

| | | |
|---|--|---|
| MUESTRA LAB/1048/2022 | FECHA DE MUESTREO 03/12/2022 | FECHA INICIAL DE ENSAYOS 12/12/2022 |
| REFERENCIA S-01 (MI) 1,80 m - 2.12 m | FECHA DE RECEPCIÓN 08/12/2022 | FECHA FINAL DE ENSAYOS 16/12/2022 |
| MATERIAL Muestra inalterada PVC (MI) | MUESTREADO POR Jorge Vega Dominguez | NORMA DE MUESTREO ASTM D1587 (Muestreado por el cliente) |

MÉTODOS EJECUTADOS

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA *

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA *

ES-02 LG-02,3 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE SUELOS USANDO TAMIZ DE ANÁLISIS *

ES-03 LG-03 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD *

ES-04 LG-02,1 Clasificación unificada de Suelos según SUCS ASTM D 2487 **

ES-12 LG-12 Resistencia a la Compresión Inconfinada de Suelos **, muestreo según ASTM D1587 (Muestreado por el cliente)

Los resultados de los ensayos ejecutados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayos.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo No acreditado.

Incertidumbre de la medición:

El laboratorio cuenta con los cálculos de incertidumbre respectivos. Se encuentra a disposición del cliente en caso de ser requeridos.

RESULTADOS DE ENSAYOS EJECUTADOS

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA

Humedad

%

29,4

Carolina TM

Carolina Torres Mata

Encargado Gestion Técnica

Este informe de ensayo no podrá ser reproducido en forma total y/o parcial sin previa autorización de IIG LABORATORIO

Formulario: SC-13-F-01 Versión: 04 F. Vigencia: 31/05/17 F. Revisión: 16/07/19

Paginación: 1 de 3

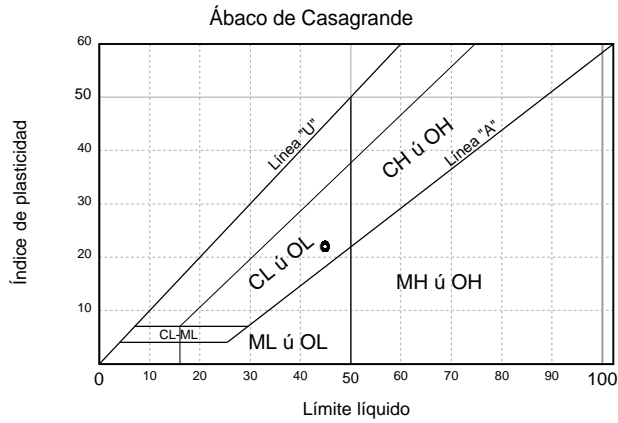
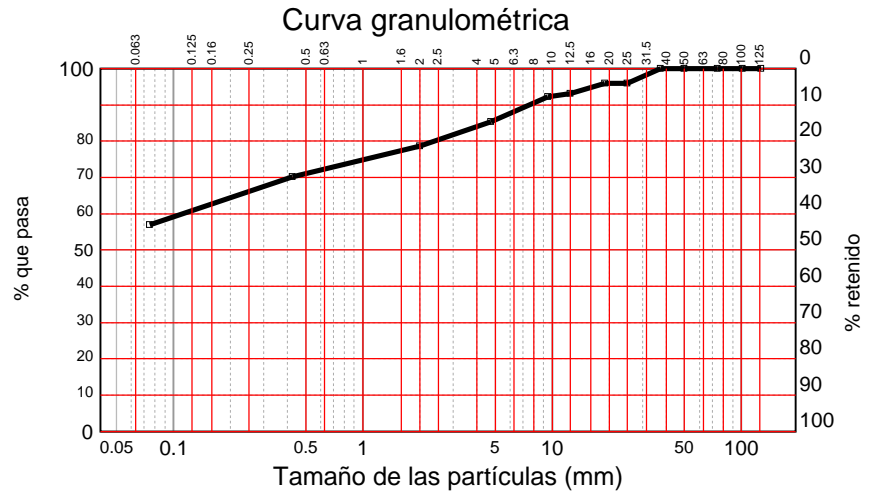
MUESTRA LAB/1048/2022

REFERENCIA S-01 (MI) 1,80 m - 2.12 m



MATERIAL Muestra inalterada PVC (MI)

| Ensayo LG-02,1 - ES-04 LG-02,1 Clasificación unificada de Suelos según SUCS S/ASTM D 2487 (D 2216, D 6913 y D4318) | |
|--|----------|
| Tamiz (mm) | Pasa (%) |
| 127 | 100,0 |
| 101,6 | 100,0 |
| 75 | 100,0 |
| 50 | 100,0 |
| 37,5 | 100,0 |
| 25 | 96,0 |
| 19 | 96,0 |
| 12,5 | 93,0 |
| 9,5 | 92,2 |
| 4,75 | 85,4 |
| 2 | 78,7 |
| 0,425 | 70,1 |
| 0,075 | 57,0 |



Método de análisis Lavado y tamizado

| Distribución granulométrica S/ASTM-D 2487 | | |
|---|----------------------------|-------|
| Bloques (escala Wentworth) | Más de 300 mm. | 0,0% |
| Cantos (escala Wentworth) | De 75 a 300 mm. | 0,0% |
| Gravas (14,6%) | gruesas De 19 a 75 mm. | 4,0% |
| | finas De 4,75 a 19 mm. | 10,5% |
| Arenas (28,4%) | gruesas De 2 a 4,75 mm. | 6,8% |
| | medias De 0,425 a 2 mm. | 8,6% |
| | finas De 0,075 a 0,425 mm. | 13,1% |
| Limos y arcillas | Menos de 0,075 mm. | 57,0% |

| | |
|-----------------------|------|
| Límite líquido | 44,8 |
| Límite plástico | 22,8 |
| Índice de plasticidad | 22,0 |

ENSAYADO POR: Ricardo Murillo Rojas

REVISADO POR: Carolina Torres Mata

MUESTRA LAB/1048/2022

REFERENCIA S-01 (MI) 1,80 m - 2.12 m



MATERIAL Muestra inalterada PVC (MI)

Clasificación USCS S/ASTM D2487

CL : Arcilla de baja plasticidad arenosa

Clasificación AASHTO M145 (ASTM D3282)

Grupo: A-7-6 (10)
Materiales limosos arcillosos. Suelos arcillosos

ES-12 LG-12 Resistencia a la Compresión Inconfinada de Suelos

DIMENSIONES DE LA PROBETA

| | | |
|----------|-----------------|-------|
| Altura | cm | 11,41 |
| Diámetro | cm | 5,76 |
| Sección | cm ² | 26,06 |
| Volumen | cm ³ | 297,3 |

HUMEDAD

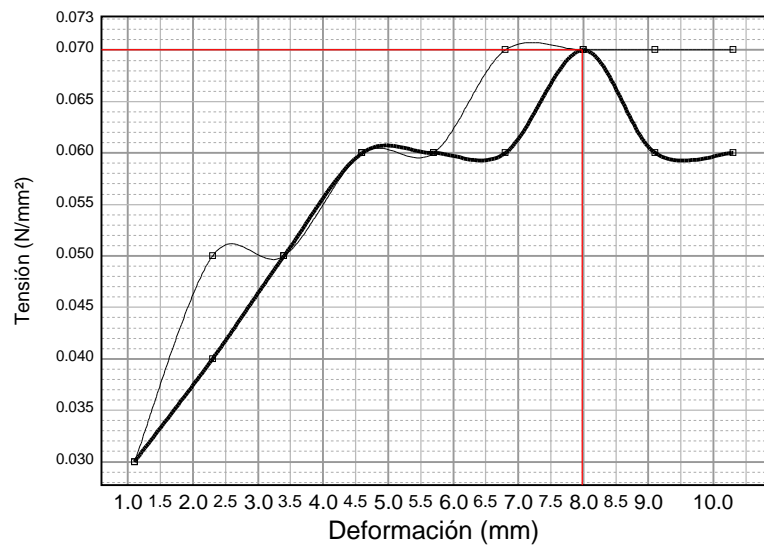
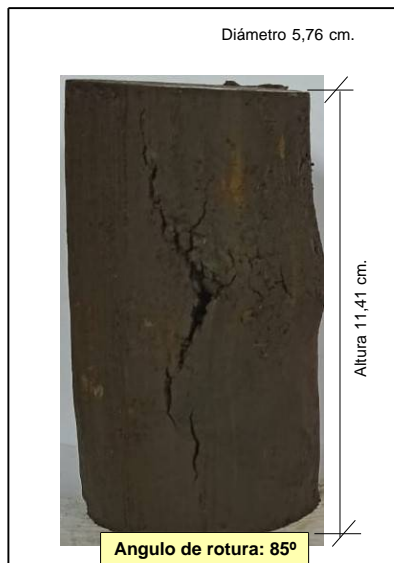
| | | |
|-----------------|---|-------|
| Humedad probeta | % | 29,40 |
|-----------------|---|-------|

RESISTENCIA A COMPRESION CORREGIDA

| | | |
|-------------|-------------------|------|
| Carga | kN | 0,19 |
| Resistencia | N/mm ² | 0,07 |
| Deformación | mm | 7,98 |

DENSIDAD

| | | |
|-----------------|-------------------|------|
| Densidad Húmeda | g/cm ³ | 1,92 |
| Densidad Seca | g/cm ³ | 1,49 |



ENSAYADO POR: Ricardo Murillo Rojas

REVISADO POR: Carolina Torres Mata

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS



IIG LABORATORIO

PAVAS, SAN JOSÉ, COSTA RICA
TELFAX. (506) 22322323
WhatsApp. (506) 87460652
CÉD- 3-101-667-662



CLIENTE

Ingeniería Técnica de Proyectos

Ing. Sergio Fernández

Transversal 72, contiguo a Repretel, La Uruca, San José, Costa Rica.

N° de Acta

2022/1711

16 de December de
2022

N° DE OBRA 2710

PROYECTO Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña

Santa Ana, San José

| | | | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| MUESTRA | LAB/1049/2022 | FECHA DE MUESTREO | 03/12/2022 | FECHA INICIAL DE ENSAYOS | 08/12/2022 |
| REFERENCIA | S-01 (M9) 3,00 m - 3.30 m | FECHA DE RECEPCIÓN | 08/12/2022 | FECHA FINAL DE ENSAYOS | 16/12/2022 |
| MATERIAL | Muestra plastificada (MP) | MUESTREADO POR | Jorge Vega Dominguez | NORMA DE MUESTREO | ASTM D1587 (Muestreado por el cliente) |

MÉTODOS EJECUTADOS

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA *
LG-15,1 Compresión inconfiada de núcleos de roca **, muestreo según ASTM D1587 (Muestreado por el cliente)

Los resultados de los ensayos ejecutados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayos.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo No acreditado.

Incertidumbre de la medición:

El laboratorio cuenta con los cálculos de incertidumbre respectivos. Se encuentra a disposición del cliente en caso de ser requeridos.

RESULTADOS DE ENSAYOS EJECUTADOS

| | | |
|---|---|-----|
| ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA | | |
| Humedad | % | 9,7 |

Carolina TM

Carolina Torres Mata

Encargado Gestion Técnica

Este informe de ensayo no podrá ser reproducido en forma total y/o parcial sin previa autorización de IIG LABORATORIO

MUESTRA LAB/1049/2022

REFERENCIA S-01 (M9) 3,00 m - 3.30 m

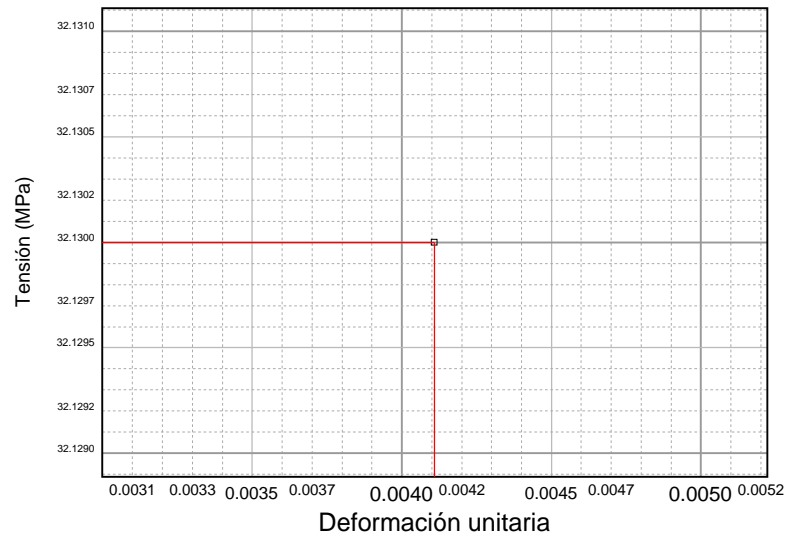


MATERIAL Muestra plastificada (MP)

| ES-15 LG-15,1 Resistencia a la compresión inconfiada de núcleos de roca | | |
|---|-------------------|--------|
| CARACTERISTICAS GEOMETRIAS | | |
| Nº Probeta | | - |
| Diámetro | mm | 71,58 |
| Altura | mm | 141,19 |
| Sección | cm ² | 40,2 |
| Volumen | cm ³ | 568,2 |
| Masa húmeda | g | 1310,2 |
| Masa seca | g | 1194,3 |
| Humedad | % | 9,7 |
| Densidad húmeda | g/cm ³ | 2,31 |
| Densidad seca | g/cm ³ | 2,10 |
| CARACTERISTICAS MECANICAS | | |
| Tensiones | MPa | 32,13 |
| Carga de rotura (kN) | | 129,30 |
| Tensión de rotura (MPa) | | 32,13 |

Observaciones: .

Forma de rotura:



ENSAYADO POR: Ricardo Murillo Rojas

REVISADO POR: Carolina Torres Mata

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS



IIG LABORATORIO

PAVAS, SAN JOSÉ, COSTA RICA
TELFAX. (506) 22322323
WhatsApp. (506) 87460652
CÉD- 3-101-667-662



CLIENTE

Ingeniería Técnica de Proyectos

Ing. Sergio Fernández

Transversal 72, contiguo a Repretel, La Uruca, San José, Costa Rica.

N° de Acta

2022/1712

16 de December de
2022

N° DE OBRA 2710

PROYECTO Diseño y construcción de puente vehicular a dos carriles y paso peatonal sobre Quebrada Caraña

Santa Ana, San José

| | | | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| MUESTRA | LAB/1050/2022 | FECHA DE MUESTREO | 03/12/2022 | FECHA INICIAL DE ENSAYOS | 08/12/2022 |
| REFERENCIA | S-01 (MP) 6,00 m - 6.30 m | FECHA DE RECEPCIÓN | 08/12/2022 | FECHA FINAL DE ENSAYOS | 16/12/2022 |
| MATERIAL | Muestra plastificada (MP) | MUESTREADO POR | Jorge Vega Dominguez | NORMA DE MUESTREO | ASTM D1587 (Muestreado por el cliente) |

MÉTODOS EJECUTADOS

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA *
LG-15,1 Compresión inconfiada de núcleos de roca **, muestreo según ASTM D1587 (Muestreado por el cliente)

Los resultados de los ensayos ejecutados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayos.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo No acreditado.

Incertidumbre de la medición:

El laboratorio cuenta con los cálculos de incertidumbre respectivos. Se encuentra a disposición del cliente en caso de ser requeridos.

RESULTADOS DE ENSAYOS EJECUTADOS

ES-01 LG-01 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO Y ROCA POR MASA

Humedad

%

7,8

Carolina TM

Carolina Torres Mata

Encargado Gestion Técnica

Este informe de ensayo no podrá ser reproducido en forma total y/o parcial sin previa autorización de IIG LABORATORIO

MUESTRA LAB/1050/2022

REFERENCIA S-01 (MP) 6,00 m - 6.30 m

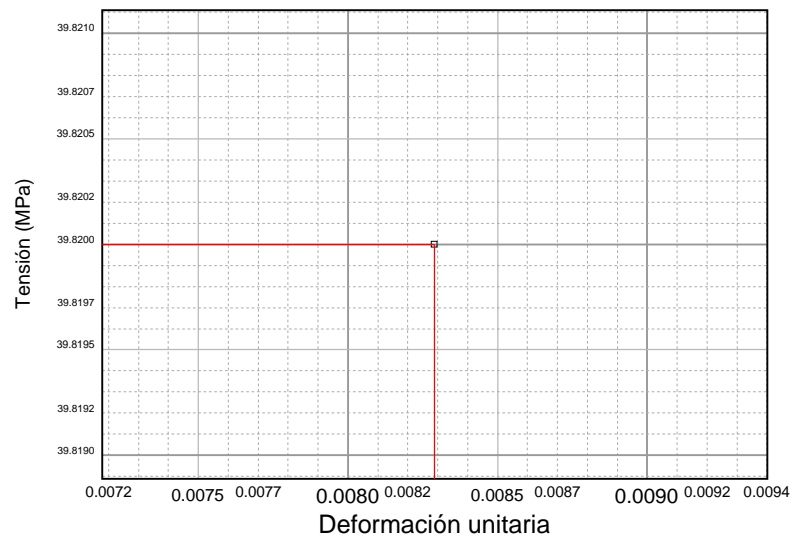


MATERIAL Muestra plastificada (MP)

| ES-15 LG-15,1 Resistencia a la compresión confinada de núcleos de roca | | |
|--|-------------------|--------|
| CARACTERISTICAS GEOMETRIAS | | |
| Nº Probeta | | - |
| Diámetro | mm | 71,55 |
| Altura | mm | 141,11 |
| Sección | cm ² | 40,2 |
| Volumen | cm ³ | 567,4 |
| Masa húmeda | g | 1305,6 |
| Masa seca | g | 1211,1 |
| Humedad | % | 7,8 |
| Densidad húmeda | g/cm ³ | 2,30 |
| Densidad seca | g/cm ³ | 2,13 |
| CARACTERISTICAS MECANICAS | | |
| Tensiones | MPa | 39,82 |
| Carga de rotura (kN) | | 160,10 |
| Tensión de rotura (MPa) | | 39,82 |

Observaciones: .

Forma de rotura:



ENSAYADO POR: Ricardo Murillo Rojas

REVISADO POR: Carolina Torres Mata