




| | | | | |
|---|---------------------------|--------------------------|------------------------------|---|
|  | Informe geotécnico | | Consecutivo: 060-2020-013 |   |
| | EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 1 de 14 | |

INFORME GEOTÉCNICO

PROYECTO:
DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA CORTANTE A PARTIR DE ENSAYOS MASW
SITIO: ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA GLCR
CRUZ ROJA LA CRUZ
LA CRUZ, GUANACASTE

CLIENTE:
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

El estudio geotécnico realizado está sustentado en la ejecución de los ensayos según los procedimientos siguientes:

1. EN-P15 Ensayo MASW

El informe geotécnico se elabora en correspondencia con el procedimiento EG-P01 Exploración geotécnica.

Abril, 2020

| | |
|---|--|
| Aprobado por | |
| Alta Dirección | |
| Nota: El presente informe no es válido si no posee la firma digital de aprobación | |

MYV Soluciones Geotécnicas presta los servicios en correspondencia con su Sistema de Gestión de la Calidad, certificado por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, según la norma INTE-ISO 9001:2015, con el registro RE-014/10/2014¹, tomando como base los resultados de los muestreos y ensayos realizados por nuestro laboratorio, acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con Alcance de Acreditación N°. LE-118. Las recomendaciones o interpretaciones realizadas en este informe, responden a lo aprobado en el alcance de certificación.

¹ Línea 22, GD-P01-R01, Consecutivo 2018-01

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 2 de 14 |

ÍNDICE

| | Pág. No. |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN. | 3 |
| 1.1. Aspectos Generales. | 3 |
| 1.2. Objetivos y Alcances. | 3 |
| 1.3. Autorización. | 3 |
| 1.4. Estatutos Profesionales. | 4 |
| 1.5. Construcción Propuesta. | 4 |
| 2. INVESTIGACIONES EN EL SITIO. | 5 |
| 2.1. Programa de exploración de campo. | 5 |
| 2.2. Post-procesamiento de resultados | 6 |
| 3. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES. | 9 |
| 3.1. Descripción del sitio. | 9 |
| 3.2. Correlación de sondeos MASW. | 10 |
| 4. RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO. | 12 |
| 4.1. Generalidades. | 12 |
| 4.2. Clasificación sísmica según CSCR. | 13 |
| 4.3. Periodo Natural del terreno según CSCR | 13 |
| ANEXOS | |
| ANEXO A: Mapa de ubicación del proyecto. | |
| ANEXO B: Croquis de ubicación de los sondeos realizados. | |
| ANEXO C: Hojas de resumen de ensayos MASW. | |
| ANEXO D: Espectro-FK. | |
| ANEXO E: Registro fotográfico del proyecto. | |

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 3 de 14 |

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ASPECTOS GENERALES.

Este reporte presenta los resultados de nuestra investigación efectuada en el sitio de proyecto correspondiente a la Estación acelerográfica GLCR, ubicada en las instalaciones de la Cruz Roja de La Cruz, Guanacaste. La exploración se efectuó con el uso de métodos geofísicos tipo sísmico (MASW). La ubicación general del sitio con respecto a rasgos topográficos y edificios existentes se presenta en el Anexo A, mapa de ubicación. La ubicación de los sondeos efectuados como parte de esta investigación se presenta en el Anexo B, croquis de ubicación específica.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE.

En general, los objetivos de esta investigación fueron:

1. Estudiar las condiciones geotécnicas del sitio por medio de ensayos sísmicos tipo MASW, con el objeto de evaluar las condiciones sub-superficiales.
2. Estimar la velocidad de onda cortante con el fin de clasificar el tipo de sitio de cimentación.

Para cumplir estos objetivos, nuestro alcance ha incluido lo siguiente:

1. Un programa de trabajo de campo, el cual consistió en la ejecución de sondeos exploratorios con equipo geofísico MASW.
2. Un programa de post-procesamiento de resultados geofísicos.
3. Un programa de trabajo de oficina que consistió en la correlación de datos disponibles, análisis de ingeniería, y la preparación del presente reporte.

1.3. AUTORIZACIÓN.

La exploración fue autorizada por parte del Ing. Luis Esquivel (Laboratorio de Ingeniería Sísmica), a través de un comunicado vía correo electrónico.

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 4 de 14 |

1.4. ESTATUTOS PROFESIONALES.

Los datos utilizados que soportan nuestras recomendaciones se presentan en las sub-siguientes secciones del presente reporte. Las recomendaciones que se presentan acá están gobernadas por las propiedades físicas de los suelos encontrados en el sitio durante la ejecución de los sondeos exploratorios. Las características del proyecto se discuten en la sección 1.5., Construcción Propuesta, del presente reporte.

Si se encuentran condiciones sub-superficiales diferentes a las que se describen en el presente reporte o si se producen cambios en las características del proyecto, MYV deberá ser informado para que nuestras recomendaciones puedan ser revisadas / corregidas, si se considera necesario.

Nuestros servicios profesionales han sido efectuados de acuerdo con principios y prácticas de ingeniería actualmente aceptadas.

1.5. CONSTRUCCIÓN PROPUESTA.

MYV entiende que en este sitio se localiza una estación de medición sísmica, perteneciente al Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS), para la cual se requiere determinar la respuesta sísmica del sustrato subyacente.

2. INVESTIGACIONES EN EL SITIO.

2.1. PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE CAMPO.

SONDEOS SÍSMICOS TIPO MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales)

Se realizó un (1) sondeo sísmico tipo MASW (análisis multicanal de ondas superficiales). La tabla 1 muestra la descripción del sondeo sísmico efectuado en el sitio de proyecto, con respecto a la configuración correspondiente:

Tabla 1.
Descripción del sondeo exploratorio

| ID Sondeo | Latitud Norte* | Longitud Este* | Ubicación |
|-----------|----------------|----------------|-----------|
| MASW-13 | 1224888 | 321666 | Anexo B |

(*) - Las coordenadas se levantaron por medio de un equipo GPS Garmin MAP62, en sistema CRTM05.

La figura 1 muestra esquemáticamente la configuración de un sistema de adquisición de datos utilizando el método MASW. En general, una separación mayor entre geófonos permite caracterizar de mejor manera el terreno a profundidad. Además, una separación grande entre la fuente y el sistema de geófonos permite asegurar una alta calidad de ondas superficiales para longitudes de ondas grandes ya que se minimizan considerablemente, algunos efectos no deseados como efectos de campo cercano. Longitudes de onda grandes son necesarias para el análisis a mayor profundidad. Por otro lado, una distancia corta entre la fuente y el sistema de geófonos permite asegurar la misma calidad para longitudes de onda pequeñas necesarias para el análisis a profundidades someras. Por tanto, es usualmente una combinación de diferentes distancias fuente-geófonos lo que permite alcanzar una alta calidad de longitudes de onda, para cubrir así el mayor rango posible de profundidades de análisis.

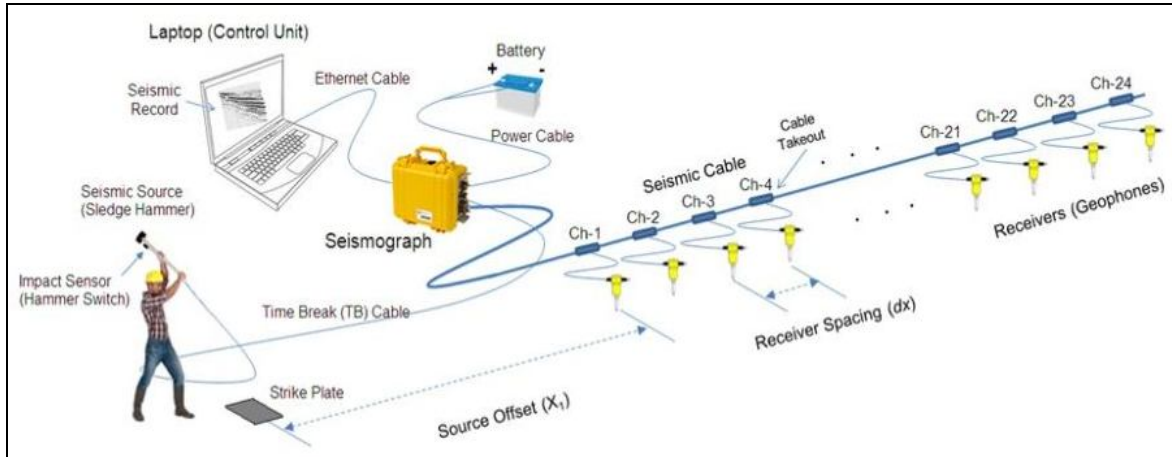


Figura 1. Configuración de un sistema de adquisición de datos utilizando el método MASW.

2.2. POST-PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

ENSAYOS MASW:

El método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de reconocimiento sísmico que evalúan la condición elástica (rigidez) del terreno para propósitos de ingeniería geotécnica. El método MASW permite medir las ondas sísmicas superficiales generadas a partir de varios tipos de fuentes sísmicas, entre ellas martillos o mazos, analizar las velocidades de propagación de estas ondas superficiales y, finalmente, deducir la variación en profundidad de la velocidad de onda cortante (V_s) debajo del perfil ensayado. La velocidad de onda cortante es una de las constantes elásticas y está relacionada estrechamente con el módulo de Young. Bajo la gran mayoría de circunstancias, la velocidad de onda cortante es un indicador directo de la resistencia del terreno (rigidez) y, por ende, comúnmente se utiliza para derivar capacidades de soporte.

La figura 2 muestra un diagrama esquemático del método de análisis multicanal de ondas superficiales. En este esquema se observa de izquierda a derecha, la fuente de las ondas sísmicas (trigger), la fuente ubicada a una distancia X_1 del primer geófono (source offset) y a una separación dx entre geófonos (receiver spacing), así como el sistema de conexión o interfaz entre el sistema de geófonos y un computador, utilizado para leer, almacenar y procesar las señales obtenidas durante las pruebas. Por último, se muestra un sismograma, el cual presenta el patrón de arribo de las ondas superficiales en cada geófono.

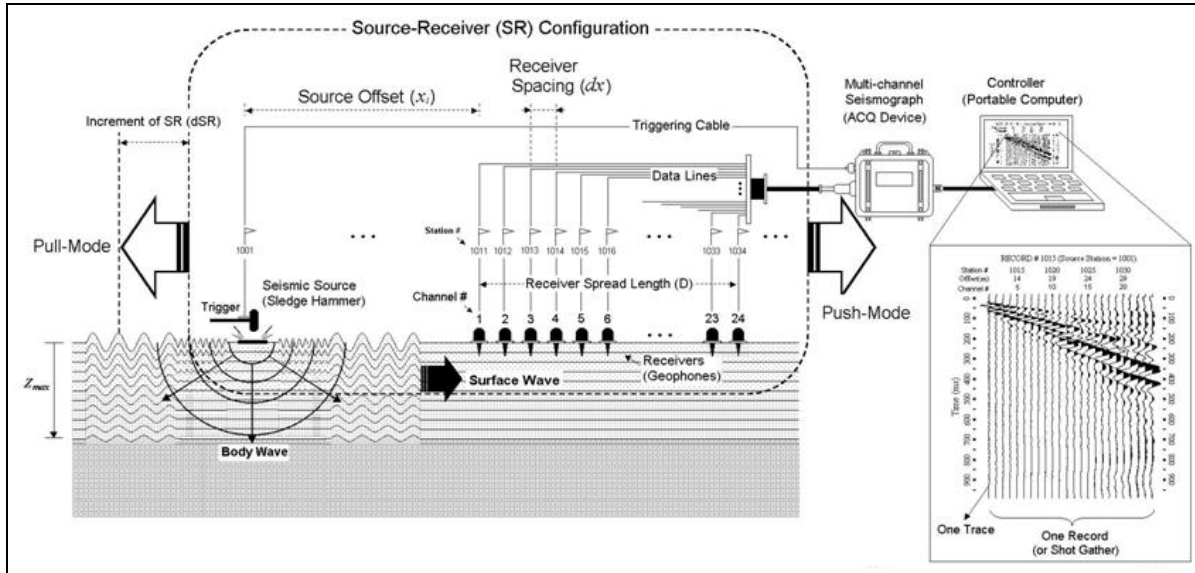


Figura 2. Diagrama esquemático de ejecución del método MASW.

El procedimiento común para ensayos con el método MASW (para perfiles 1-D) usualmente consiste de tres pasos:

Paso 1: Adquisición de datos – adquirir registros de campo multicanal.

Paso 2: Análisis de dispersión – extracción de curvas de dispersión (una de cada registro).

Paso 3: Inversión – retro análisis de la variación con la profundidad de la velocidad de onda cortante (VS) (llamado perfil 1-D) que da las curvas de dispersión teóricas más cercanas a la curva extraída (un perfil 1-D de Vs para cada curva).

Se realizó un ensayo con el método MASW. Cada ensayo sísmico consistió en la implantaciones de 12 geófonos verticales de baja frecuencia (4,5 Hz) distribuidos regularmente a intervalos de 2,0 metros, extendiéndose por tanto una longitud de 24 metros con cada una.

La separación de 2,0 metros entre los geófonos tiene por objeto conformar implantaciones con la longitud suficiente para alcanzar la profundidad de investigación necesaria, que en este caso es de 30 m. Así también para registrar las altas frecuencias y con ello incrementar la resolución vertical a profundidades someras.

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 8 de 14 |

Se consideraron distancias fuente-geófonos de 4 m. Se utilizó para esto un equipo de producción italiana modelo DoReMi, marca Sara Electronic Instruments S.R.L. Como fuente se utilizó un mazo de 4,5 kilogramos y una placa de disparo.

En el Anexo D se presenta el espectro F-K obtenido del ensayo MASW.

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 9 de 14 |

3. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

El sitio de proyecto se ubica en una zona urbana, de topografía plana ondulada, cuya cobertura predominante corresponde con caseríos, caminos y aceras. En la figura 3 se observa una vista del sitio de estudio.



Figura 3. Vista del sitio donde se desarrolla el proyecto.

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020

3.2. CORRELACIÓN DE SONDEOS MASW.

Se trazó un (1) perfil de velocidad de onda cortante (1-D), el cual se distribuyó de forma longitudinal en el costado norte de la Cruz Roja de La Cruz.

El perfil de velocidad de onda cortante muestra velocidades con un rango entre 204 m/s y 587 m/s, correspondientes con suelos residuales, seguidos de un basamento rocoso de tipo ígneo. La figura 4 muestra la distribución del perfil de velocidad de onda cortante para el sitio investigado.

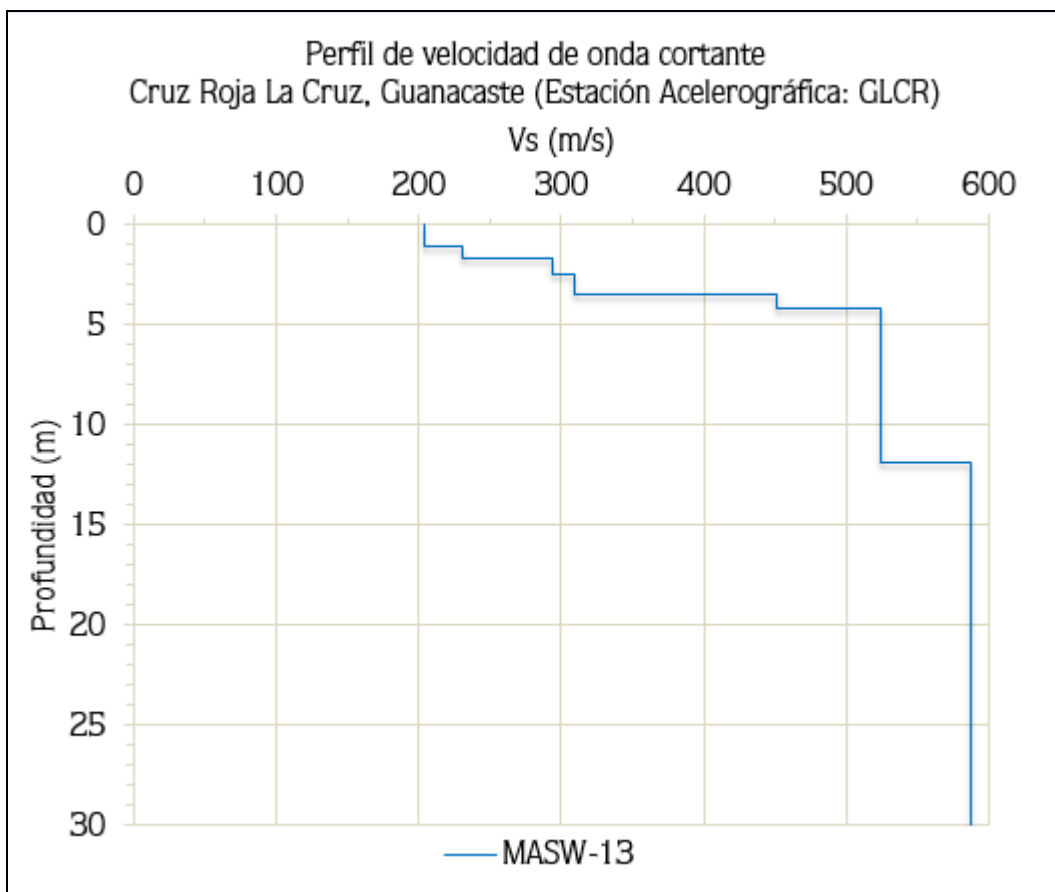


Figura 4. Perfil de velocidad de onda cortante

La figura 4 muestra un perfil donde se puede observar al menos cuatro capas o zonas de contraste. A continuación, se presenta la correlación litológica de las capas identificadas:

| | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 11 de 14 |

Capa I: Corresponde con suelos medio compactos presentes en la superficie del terreno, y hasta aproximadamente 1,6 m de profundidad. Correspondiente con valores de Vs de 200 m/s y 230 m/s.

Capa II: Corresponde con suelos compactos que subyacen la Capa I. La Capa II se extiende desde los 1,6 m y hasta los 3,5 m de profundidad, con velocidades de onda cortante alrededor de los 300 m/s.

Capa III: Corresponde con suelos compactos a muy compactos, que subyace a la Capa II y se extiende desde los 3,5 m y hasta los 11,8 m de profundidad, con velocidades de onda alrededor de los 450 m/s.

Capa IV: Corresponde con el basamento ígneo, que se detectan desde los 11,8 m y hasta la máxima profundidad explorada (30 m). La velocidad de onda de esta capa es de 590 m/s.

Nota aclaratoria:

- a. El método MASW activo puede ser afectado por el ruido ambiental generado por fuentes externas.
- b. El sitio donde se realizó el ensayo corresponde con una zona urbana, sin embargo, por tanto, existe tránsito vehicular y peatonal, lo cual puede interferir en la calidad de las señales recolectadas y por ende en los datos obtenidos.
- c. Al tratarse de una zona con infraestructura existente, también se pueden dar afectaciones a la señal por la presencia de tuberías o estructuras enterradas en las cercanías.

| | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 12 de 14 |

4. RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

4.1. GENERALIDADES

Los comentarios del Código Sísmico de Costa Rica CSCR 2010 establecen textualmente lo siguiente: El parámetro más influyente en el comportamiento de un depósito es el promedio de velocidad de onda cortante. Comúnmente un depósito puede estar compuesto por varias capas de diferentes características. En caso de estratos de suelo someros o medios de espesores menores a 30 metros, todo el depósito es importante para la respuesta global sísmica. En depósitos más profundos, de contextura rígida, el movimiento en la superficie tiende a ser regido por las características de los primeros 30 a 50 metros del depósito, por lo que puede ser caracterizado por el promedio de la velocidad cortante de los 30 m superficiales. Los depósitos muy profundos de consistencia media a blanda no se pueden caracterizar de esta manera. Como se menciona en el párrafo a continuación, deben ser evaluados mediante un estudio específico de respuesta dinámica para el depósito.

La velocidad de onda ponderada que caracteriza los 30 metros superficiales del sitio deberá evaluarse como el promedio ponderado de los valores de los diferentes estratos que aparecen a esta profundidad, de la siguiente manera:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Donde h_i y v_i son respectivamente los espesores y velocidades de los estratos que componen los 30 metros superficiales del sitio.

El CSCR 2010 dice que, para proyectos de gran magnitud, la velocidad de onda cortante es el parámetro preferido para la caracterización de un sitio.

Una vez determinado el valor de V_{S30} específico, se clasifica el sitio de cimentación según la siguiente tabla:

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Tabla 2.
Clasificación del sitio de cimentación con base en Vs30

| TIPO DE SITIO | Velocidad Vs30 (m/s) | Características |
|---------------|----------------------|-------------------------------|
| S1 | >760 | Roca |
| S2 | 350 – 760 | Suelo muy denso o roca blanda |
| S3 | 180 – 350 | Suelo rígido |
| S4 | <180 | Suelo blando |

4.2 CLASIFICACIÓN SÍSMICA SEGÚN CSCR

Con base en la información de Velocidad de onda Cortante (Vs) obtenida para cada implantación se aplicó la metodología especificada por el Código Sísmico de Costa Rica. La tabla 3 muestra los valores de Vs30 estimado.

Tabla 3.
Clasificación del sitio de cimentación con base en Vs30

| ID Sondeo | Velocidad Vs30 (m/s) | TIPO DE SITIO Según Art. 2.2 CSCR 2010 |
|-----------|----------------------|--|
| MASW-13 | 492 | S2 |

4.3. PERIODO NATURAL DEL TERRENO SEGÚN CSCR

Otro parámetro importante que se puede obtener a partir del análisis dinámico con velocidad de onda cortante Vs es el periodo natural predominante de suelo (Tn), según se desprende de la siguiente ecuación:

$$T_n = 4 \sum (h_i / V_{si})$$

Donde:

Tn = Periodo Fundamental del Depósito de Suelo.

hi = Espesor del i-ésimo estrato.

Vsi = Velocidad de onda cortante Vs del i-ésimo estrato.

Con base en lo anterior, el periodo natural determinado para cada implantación, son los siguientes:

Tabla 4.
Periodo Natural T_n del Depósito de Suelo

| ID Sondeo | Período (seg.) |
|------------------|-----------------------|
| MASW-13 | 0,24 |

De esta manera, se observan períodos naturales de vibración bajos debido a las características del depósito. Por tanto, si se trata de edificios relativamente bajos, estos podrían ser afectados por el fenómeno de resonancia, ya que el período natural esperado de un edificio de este tipo se encuentra en el orden de 0,10 a 0,30 segundos.

-----FIN DE DOCUMENTO-----

| | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------|
| Informe geotécnico | | |
| EG-P01-R02 | Versión: 02 ¹ | Página 15 de 14 |

INCLUYE

ANEXO A, MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.

ANEXO B, CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS.

ANEXO C, HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW.

ANEXO D, ESPECTROS F-K.

ANEXO E, REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO.

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

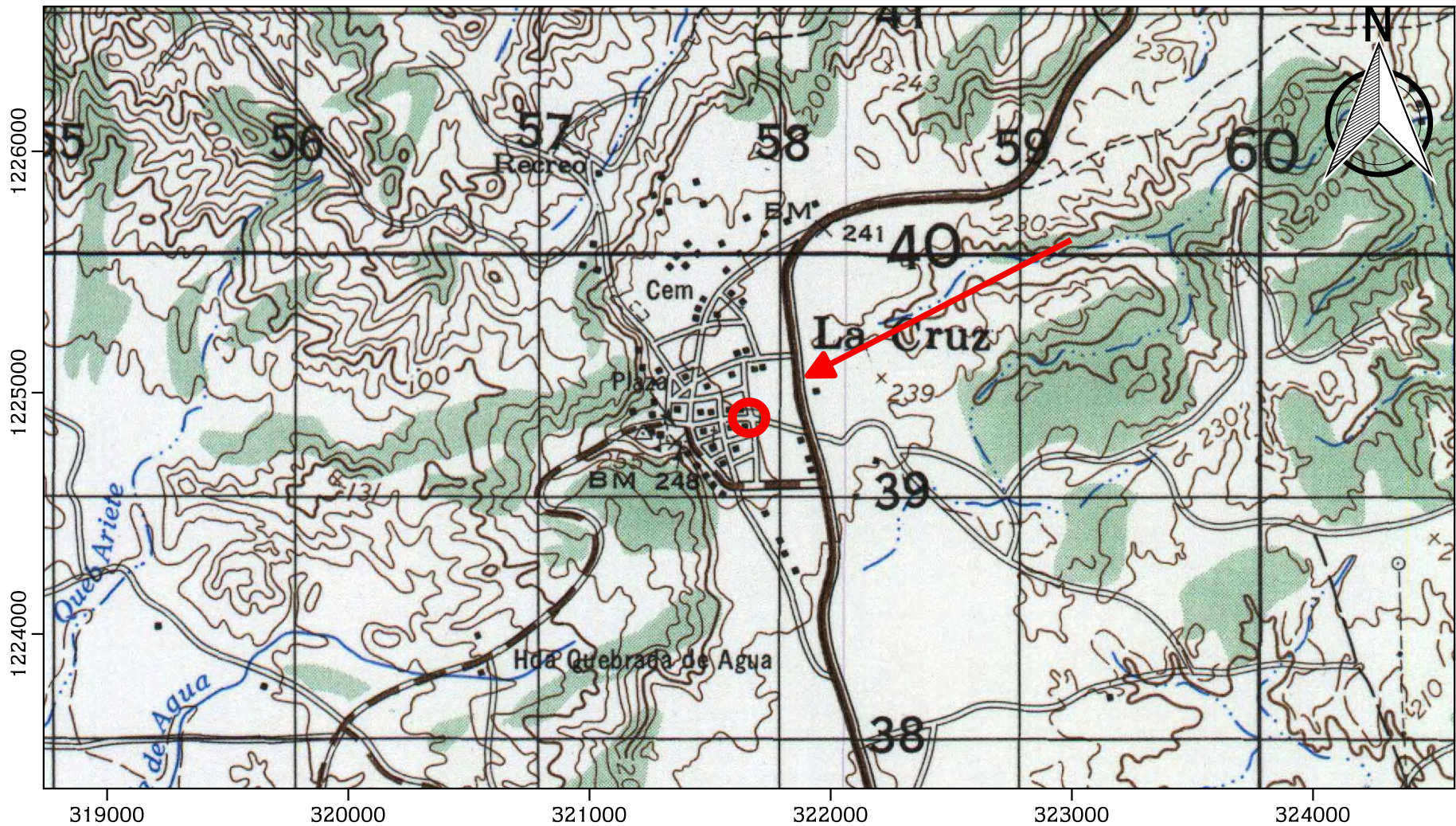
Proyecto: 060-2020

ANEXO **A**

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020



MAPA DE UBICACIÓN GENERAL
HOJA CARTOGRÁFICA BAHIA DE SALINAS
1:50000

ANEXO **B**

CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020

CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS EXPLORATORIOS



LEYENDA:

-  SONDEO MASW
-  Orientación del arreglo de geófonos
-  Disparo



ANEXO **C**

HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020

SUPERVISOR: Ing. Luis A. Vargas **PROCESADOR:** Geól. Julio C. Duarte
GEÓLOGO: Geól. Julio C. Duarte
OPERADOR: Geól. Julio C. Duarte **PROYECTO:** Determinación de velocidad de onda cortante para estaciones acelerográficas del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS).
PREPARADO PARA: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SONDEO: MASW-13

FECHA:
17/04/20

COORDENADAS (CRTM-05)

NORTE: 1224888 **ESTE:** 321666

ALTURA: ---

ESTRATIGRAFÍA

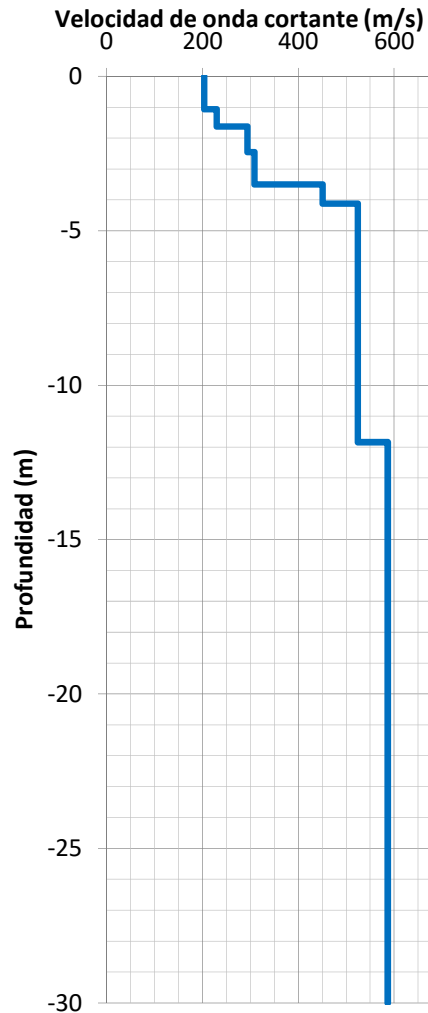
0m - 1,6m: Suelos blandos
 1,6m - 3,5m: Suelo medio compacto a compacto
 3,5m - 11,8m: Suelo muy compacto
 11,8m - 30m: Basamento ígneo

LOCALIDAD: La Cruz
PROVINCIA: Guanacaste
CANTÓN: La Cruz
DISTRITO: La Cruz

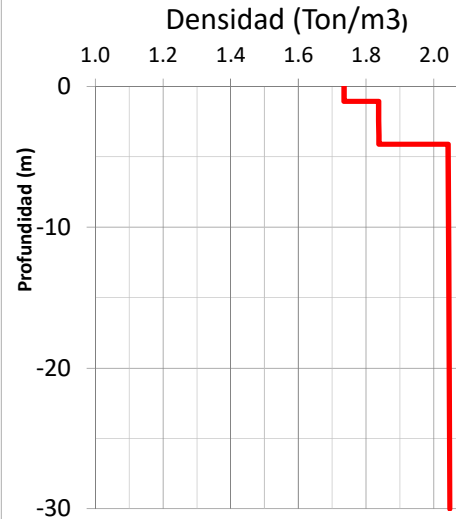
Croquis de ubicación:



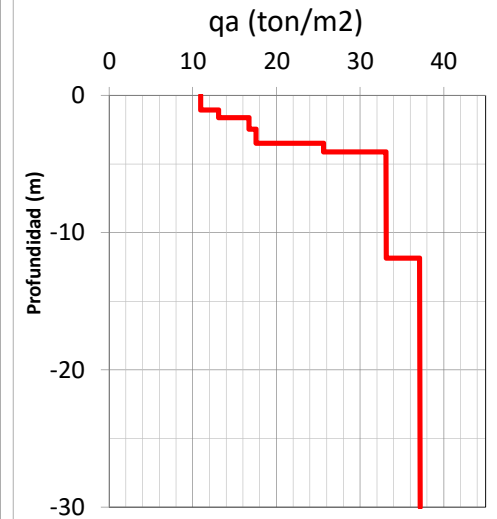
**Perfil de velocidad de onda cortante
MASW-13**



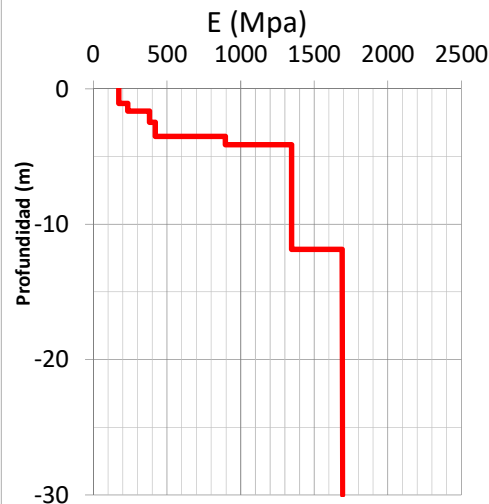
Perfil de densidad de material



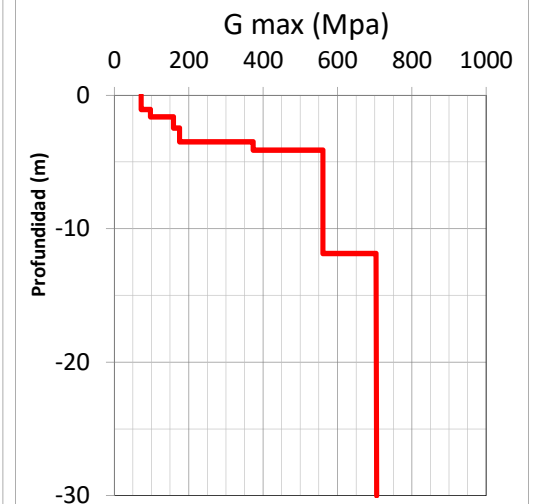
Capacidad soportante



Módulo Elástico



Módulo de Cortante Máxima



ANEXO **D**

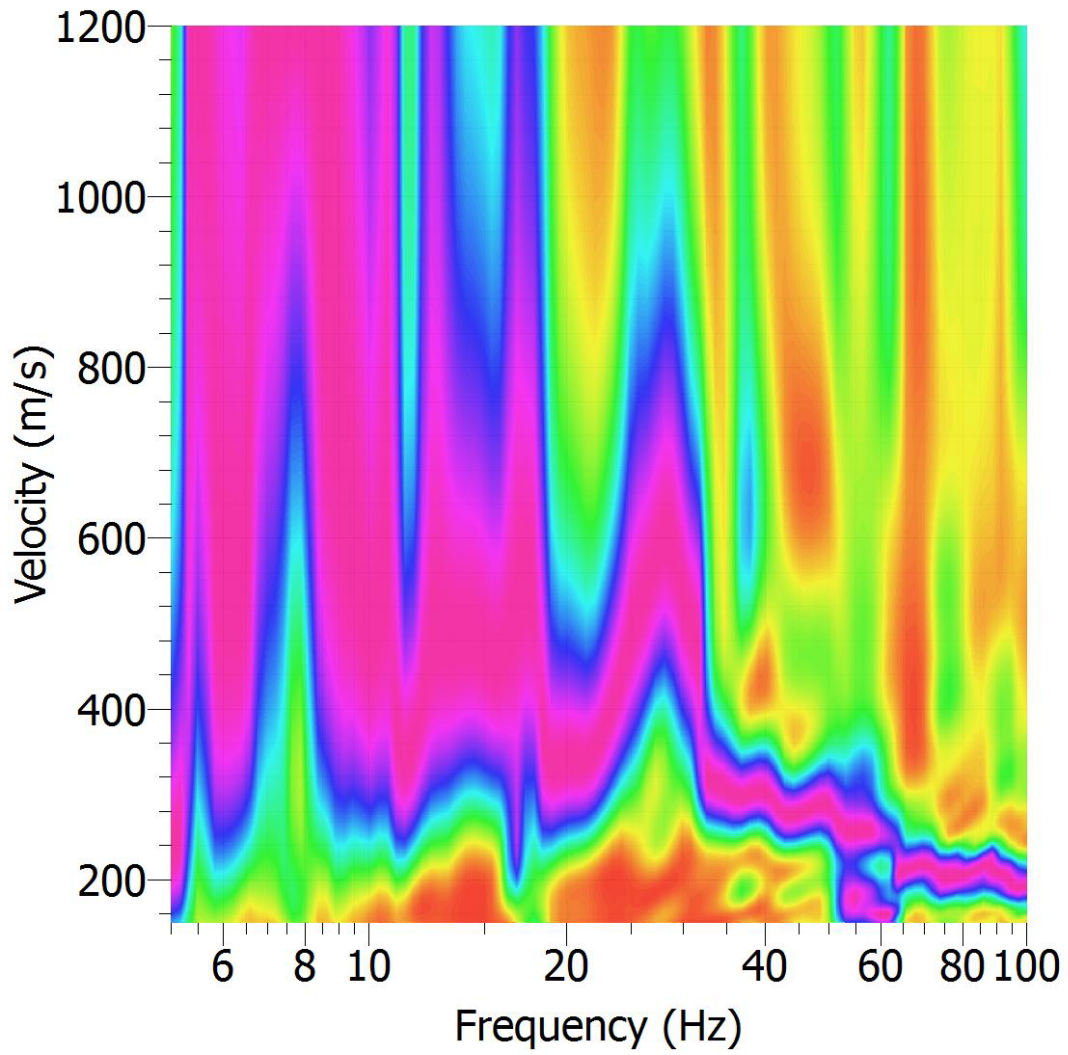
ESPECTRO F-K

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020

ESPECTRO FK

Shot at (0, 0, 0), time=2000-01-01 00:00:00



MASW-13

ANEXO **E**

REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, con el número LE-118"

Proyecto: 060-2020



Fotografía 1. Ubicación del ensayo MASW-13.



Fotografía 2. Ejecución del ensayo MASW-13.