

	Informe geotécnico		Consecutivo: 060-2019-001
	EG-P01-R02	Versión: 01	Página 1 de 14




Sistema de Gestión de la Calidad Certificado
INTE-ISO 9001:2015

INFORME GEOTÉCNICO

PROYECTO:

**DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA CORTANTE A PARTIR DE ENSAYOS
MASW, ESTACIÓN EXPERIMENTAL, FRAIJANES, UCR**

FRAIJANES, SABANILLA, ALAJUELA

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.

Junio, 2019

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-014/10/2014"

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	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.	

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	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 Experimental, Fraijanes, de la Universidad de Costa Rica. 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 a través del sitio de proyecto.
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 Téc. Álvaro Pérez y el Ing. Víctor Schmidt (Universidad de Costa Rica), a través de un comunicado verbal vía teléfono y correo electrónico.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	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 desarrollará un proyecto que consiste en la instalación de acelerómetros en una perforación pre-excavada. La información específica no se conoce a la fecha de la preparación del presente reporte, sin embargo, se efectuarán algunos supuestos para llevar a cabo el análisis respectivo.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 5 de 14

2. INVESTIGACIONES EN EL SITIO.

2.1. PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE CAMPO.

SONDEOS SÍSMICOS TIPO MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales)

Se realizaron un total de dos (2) sondeos sísmicos tipo MASW (análisis multicanal de ondas superficiales), distribuidos en dos arreglos perpendiculares entre sí.

La tabla 1 muestra la descripción de los sondeos sísmicos efectuados en el sitio de proyecto, con respecto a los correspondientes perfiles:

Tabla 1.
Descripción del sondeo exploratorio

ID Sondeo	Latitud Norte*	Longitud Este*	Ubicación
MASW-1	1120948	478798	Anexo B
MASW-2	1120949	478789	

(*) - 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.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 6 de 14

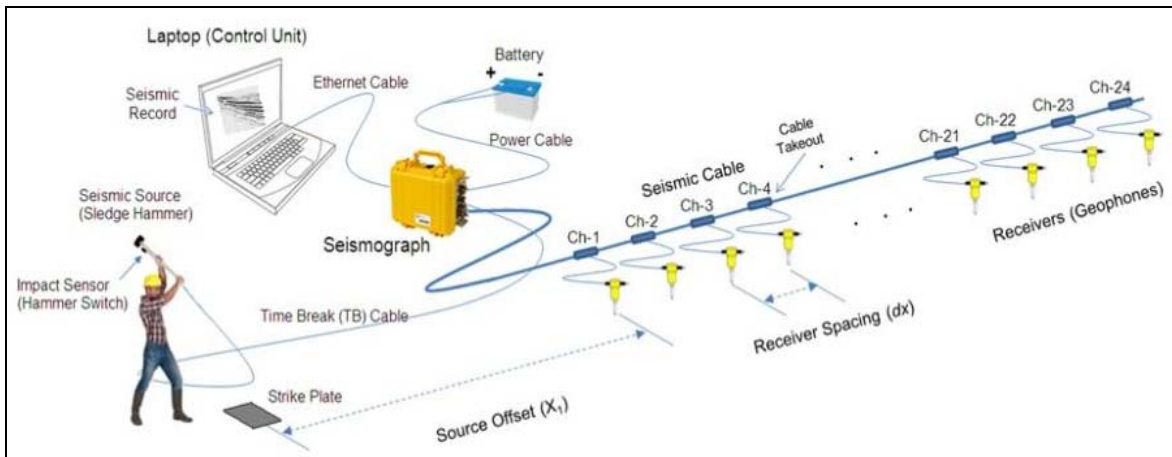


Figura 1. Configuración de un sistema de adquisición de datos utilizando el método MASW.

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.

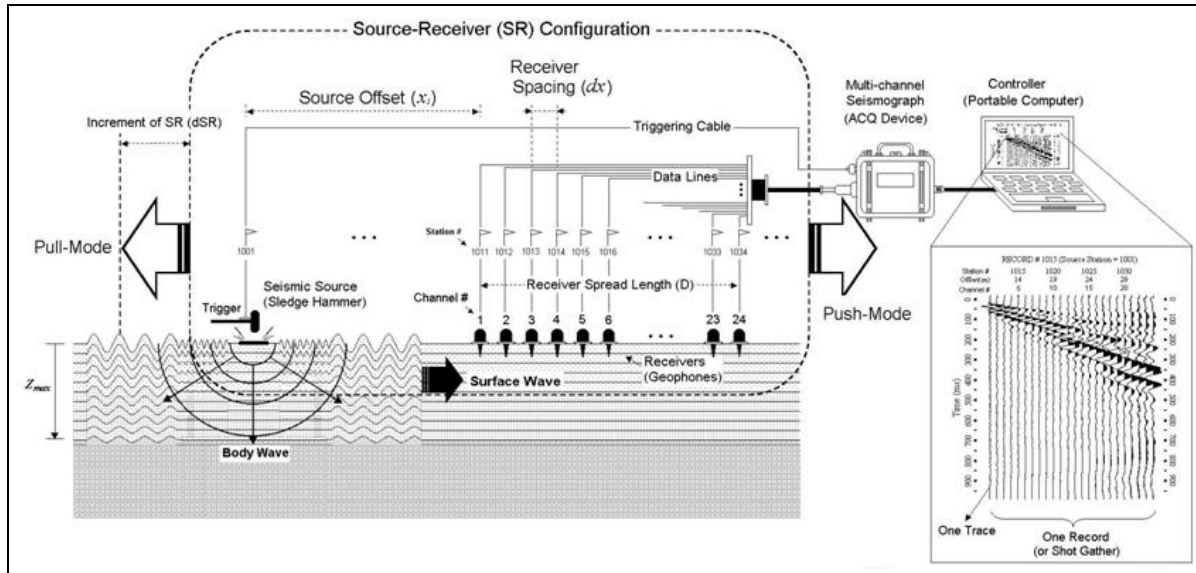


Figura 2. Diagrama esquemático de ejecución del método MASW.

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 realizaron dos ensayos con el método MASW. Cada ensayo sísmico consistió en la implantación de 24 geófonos verticales de baja frecuencia (4,5 Hz) distribuidos regularmente a intervalos de 2,0 metros, extendiéndose por tanto una longitud de 54 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 50 metros. Así también para registrar las altas frecuencias y con ello incrementar la resolución vertical a profundidades someras.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 8 de 14

Se consideraron distancias fuente-geófonos de 4 m y 8 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 presentan los espectros F-K obtenidos del MASW.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 9 de 14

3. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

El sitio de proyecto se ubica en una zona de topografía plano-inclinada, con una pendiente baja (menor al 10%) que se inclina hacia el sureste. Predomina una cobertura de vegetal tipo pastos cortos y arbustos. Además, el sitio del proyecto colinda con una estación de medición perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional, la cual se encuentra cercada con una malla perimetral. En la figura 3 se observa una vista del sitio de estudio.



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

3.2. CORRELACIÓN DE SONDEOS MASW.

Se trazaron dos (2) perfiles de velocidad de onda cortante (1-D), los cuales se distribuyeron en el sector donde se colocarán los acelerómetros.

Los perfiles de velocidad de onda cortante muestran velocidades con un rango entre 152 m/s y 1298 m/s, correspondientes con depósitos volcánicos característicos de este sector, seguidos de un basamento rocoso tipo ígneo. La figura 4 muestra la comparación de los resultados de los perfiles 1D de velocidad de onda cortante para los sitios investigados.

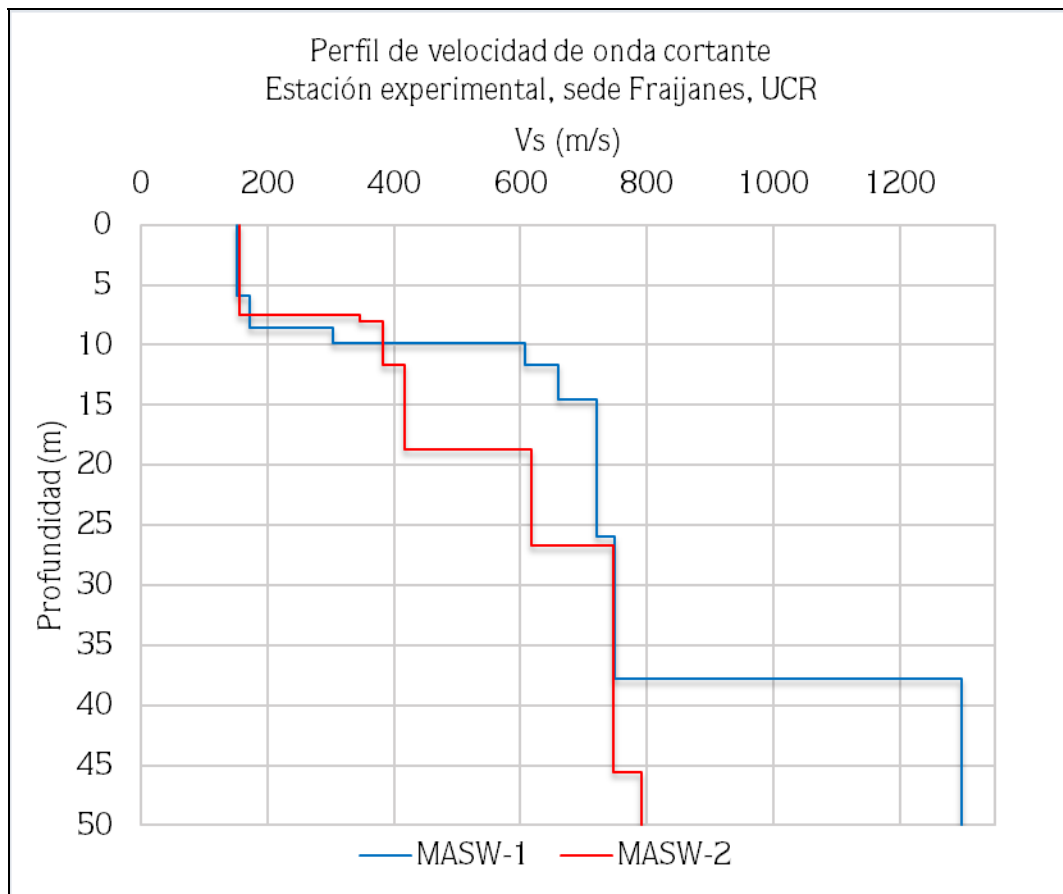


Figura 4. Perfiles de velocidad de onda cortante

La figura 4 muestra perfiles relativamente homogéneos, en donde se puede observar al menos tres capas o zonas de contraste. A continuación, se presenta la correlación litológica de las capas identificadas:

Capa I: Corresponde con suelos blandos presentes en la superficie del terreno, y hasta aproximadamente 7,50 m a 8,50 m de profundidad, con velocidades de onda que varían entre 152 m/s a 156 m/s. Esta capa se correlaciona con limos volcánicos (tobas meteorizadas).

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 11 de 14

Capa IB: Corresponde con suelos compactos a muy compactos que subyacen la Capa I. La capa IB se detecta únicamente en el sondeo MASW-2, extendiéndose hasta los 18,6 m de profundidad, con velocidades de onda cortante que van desde los 347 m/s hasta los 417 m/s, y se correlacionan con los mismos limos de origen volcánicos, pero con una consistencia mayor.

Capa II: Corresponde con lavas meteorizadas, posiblemente con un grado de fracturación medio a alto, con una velocidad de onda que van desde 608 m/s a 747 m/s. En el sondeo MASW-1 se detecta esta capa entre los 11,6 m y 37,8 m de profundidad, mientras que en el sondeo MASW-2 se detecta desde los 18,6 m hasta los 45,6 m de profundidad.

Capa IIB: Corresponde con lavas más densas, con poco fracturamiento, que se detectan desde los 37,8 m – 45,6 m y hasta la máxima profundidad explorada (50 m). La velocidad de onda de esta capa varía de 791 m/s a 1298 m/s.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	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:

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 13 de 14

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	Promedio Vs (m/s)
MASW-1	344	S3	333 (S3)
MASW-2	321	S3	

Nota: El valor de Vs30 corresponde con el promedio ponderado de las velocidades de onda correspondientes a las litologías detectadas en toda esa profundidad. Sin embargo, el cambio de contraste entre las capas I (limos volcánicos blandos) y la capa II (lavas), puede generar efectos de sitio importantes debido a que el espesor de la capa I es de aproximadamente 10 m, con velocidades de onda cortante menores a 160 m/s.

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:

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

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 01	Página 14 de 14

Donde:

T_n = Periodo Fundamental del Depósito de Suelo.

h_i = Espesor del i -ésimo estrato.

V_{si} = Velocidad de onda cortante V_s 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-1	0,35
MASW-2	0,37

De esta manera, se observan períodos naturales de vibración medios debido a las características del depósito. Por tanto, si se trata de edificios relativamente medianos, 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 0,30 a 0,40 segundos.

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

INCLUYE

ANEXO A, MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.

ANEXO A, CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS.

ANEXO B, HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW.

ANEXO C, ESPECTROS F-K.

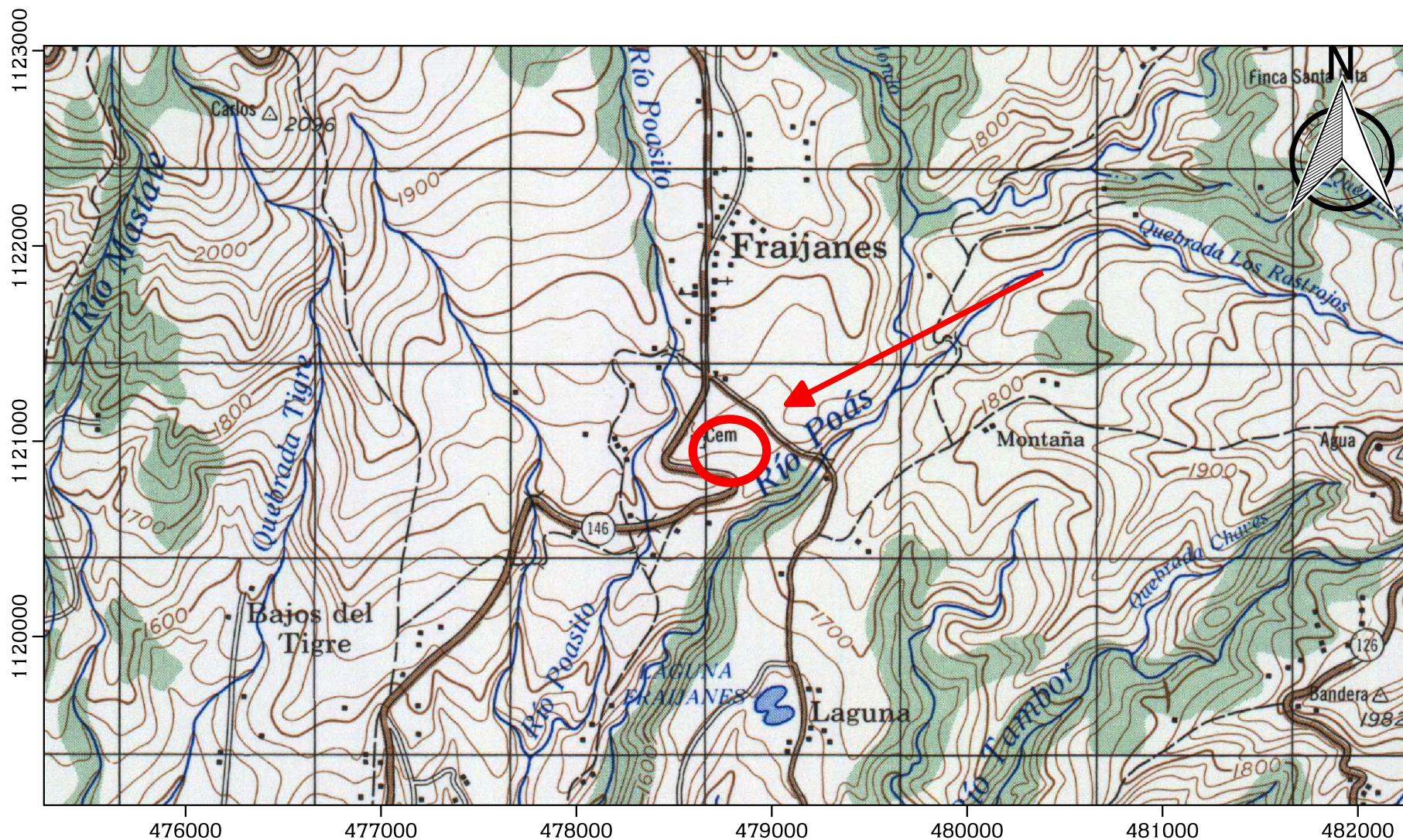
ANEXO D, REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO.

ANEXO **A**

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

"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-014/10/2014"

Proyecto: 060-2019

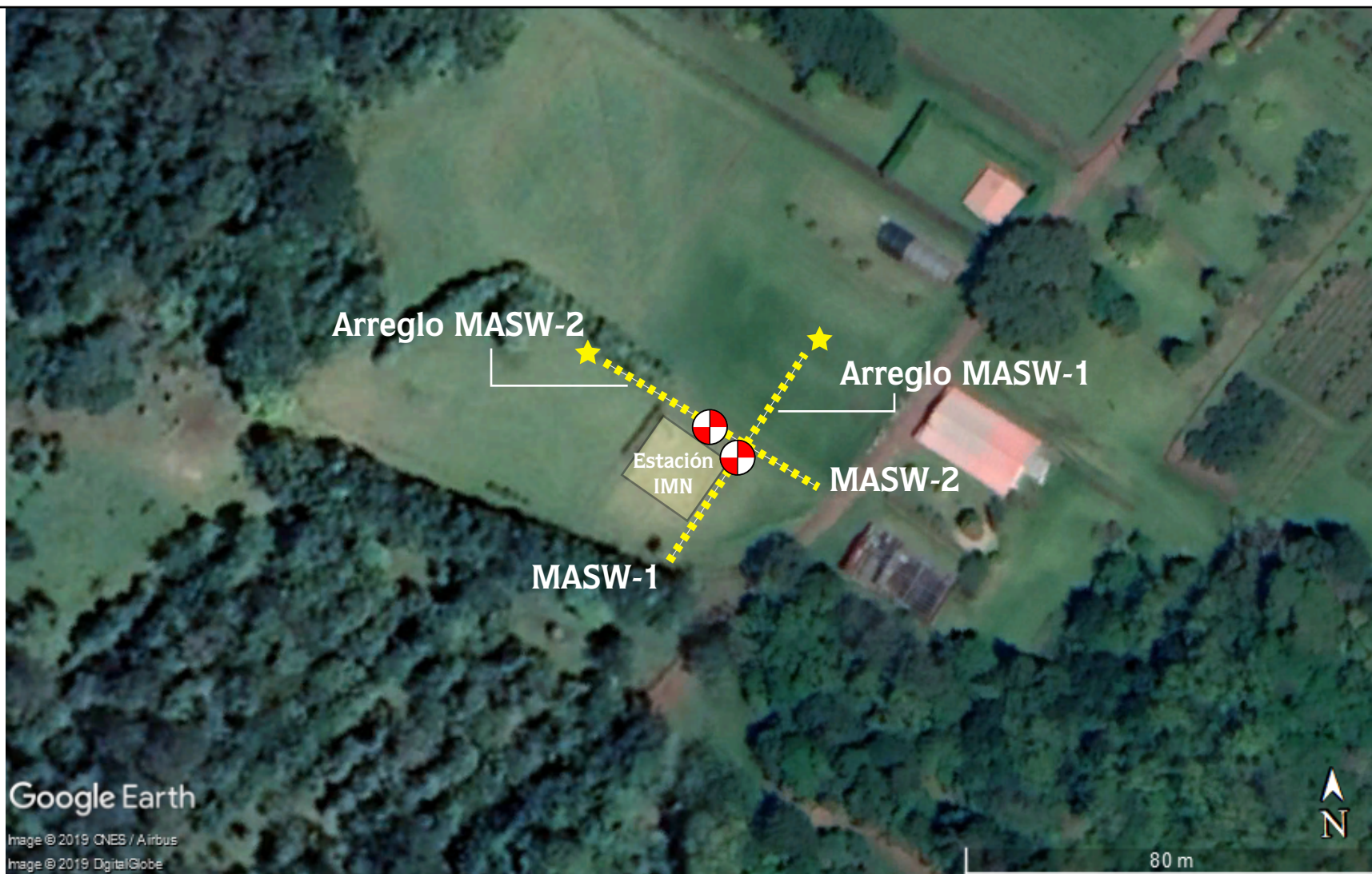


MAPA DE UBICACIÓN GENERAL
HOJA CARTOGRÁFICA BARVA 1:50000

ANEXO *B*

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS

CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS EXPLORATORIOS



LEYENDA:

-  **SONDEO MASW**
-  **Orientación del arreglo de geófonos**
-  **Fuente**



HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW

SUPERVISOR: Ing. Luis A. Vargas
GEÓLOGO: Geól. Julio C. Duarte
OPERADOR: Geól. Julio C. Duarte
PROCESADOR: Geól. Julio C. Duarte
PROYECTO: Análisis de estabilidad de taludes, Plaza Amara
PREPARADO PARA: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SONDEO: MASW-1

FECHA:
05/06/19

COORDENADAS (CRTM-05)

NORTE: 1120948
ESTE: 478798

ALTURA: ---

ESTRATIGRAFÍA

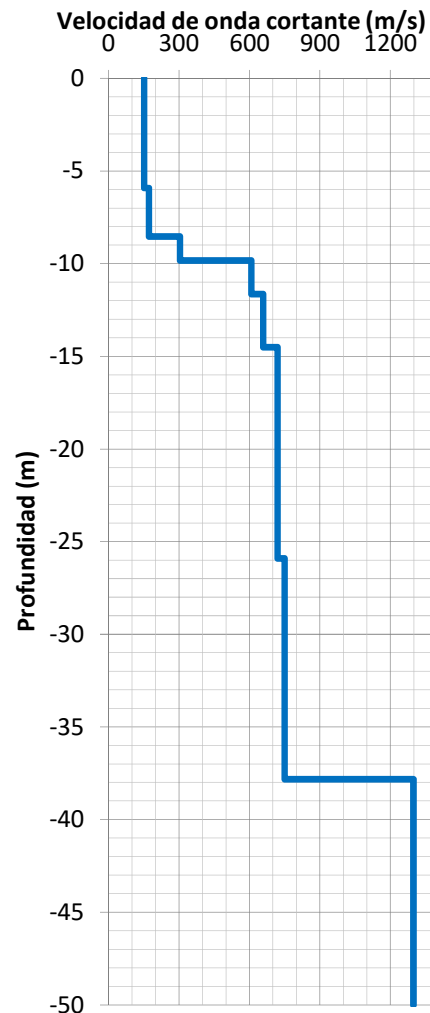
0m - 9,8m: Limos volcánicos
 9,8m - 37,8m: Lavas meteorizadas
 37,8m - 50m: Lavas sanas

LOCALIDAD: Fraijanes
PROVINCIA: Alajuela
CANTÓN: Alajuela
DISTRITO: Sabanilla

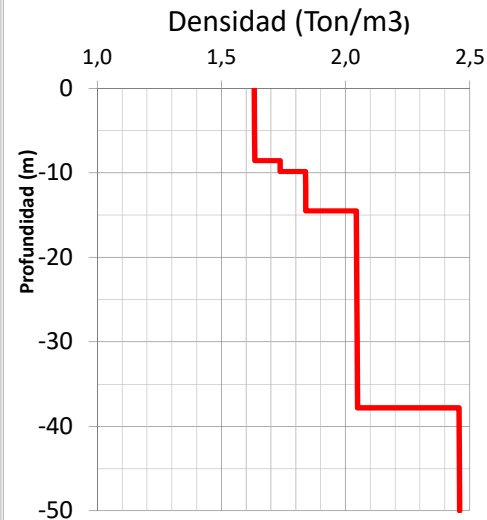
Croquis de ubicación:



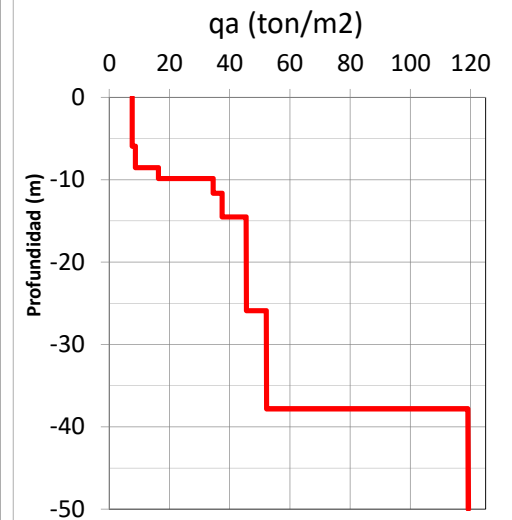
**Perfil de velocidad de onda cortante
MASW-1**



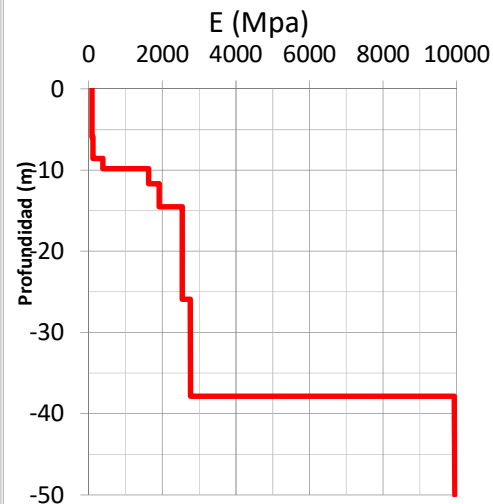
Perfil de densidad de material



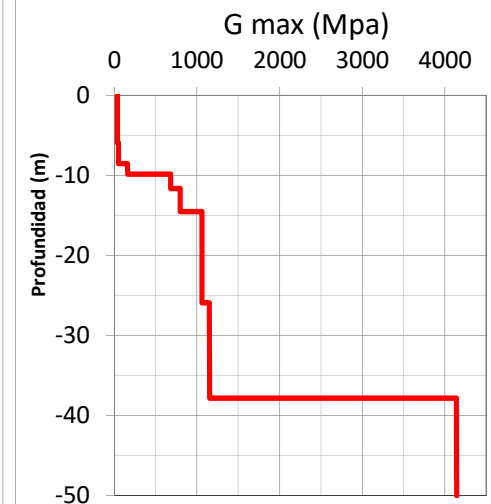
Capacidad soportante



Módulo Elástico



Módulo de Cortante Máxima



SUPERVISOR: Ing. Luis A. Vargas
GEÓLOGO: Geól. Julio C. Duarte
OPERADOR: Geól. Julio C. Duarte
PROCESADOR: Geól. Julio C. Duarte
PROYECTO: Análisis de estabilidad de taludes, Plaza Amara
PREPARADO PARA: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SONDEO: MASW-2

FECHA:
05/06/19

COORDENADAS (CRTM-05)

NORTE: 1120949
ESTE: 478789

ALTURA: ---

ESTRATIGRAFÍA

0m - 7,1m: Limos volcánicos
 7,1m - 18,6m: Limos volcánicos compactos
 18,6m - 50,0m: Lavas meteorizadas

LOCALIDAD: Fraijanes
PROVINCIA: Alajuela
CANTÓN: Alajuela
DISTRITO: Sabanilla

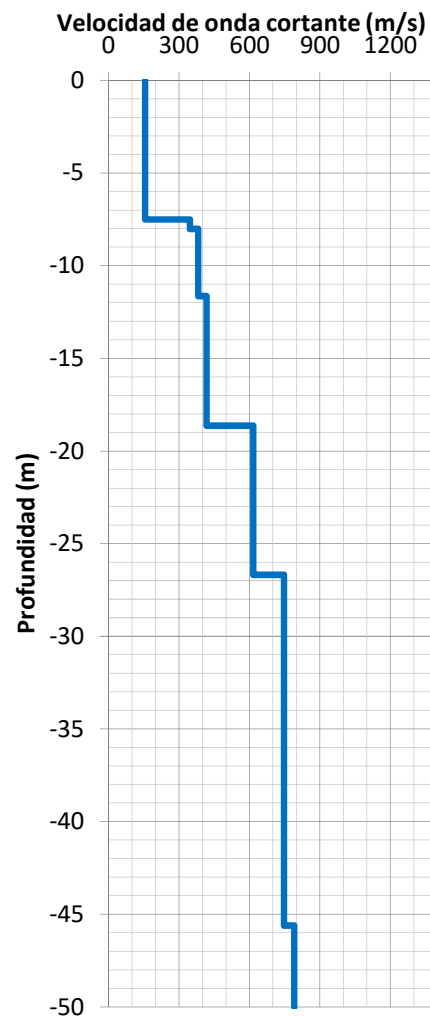
Croquis de ubicación:



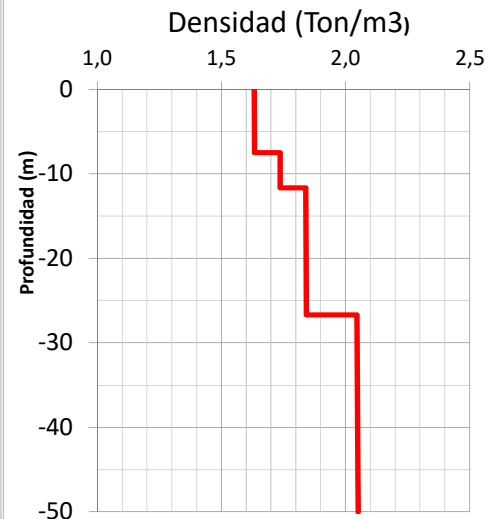
Normativa

Ensayo MASW Metodología Tezcan et al. (2006)

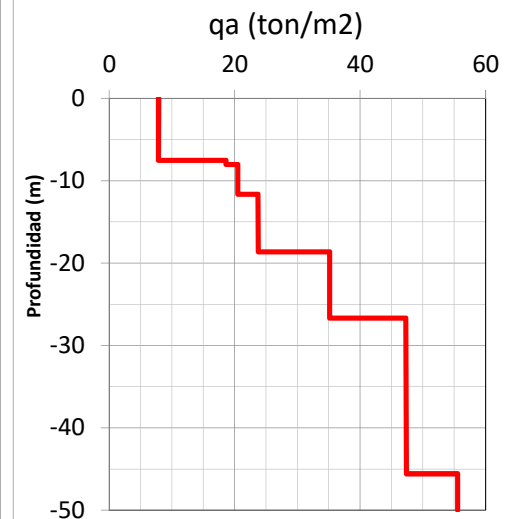
Perfil de velocidad de onda cortante MASW-2



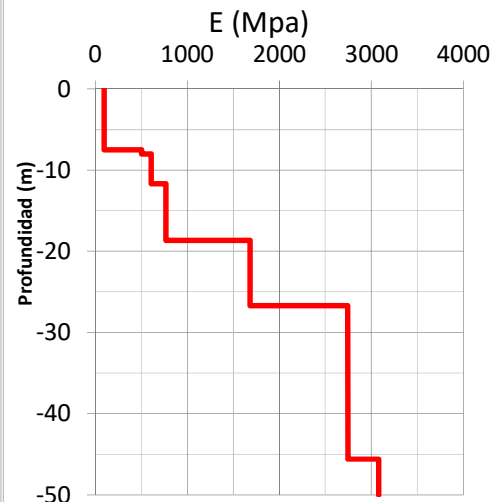
Perfil de densidad de material



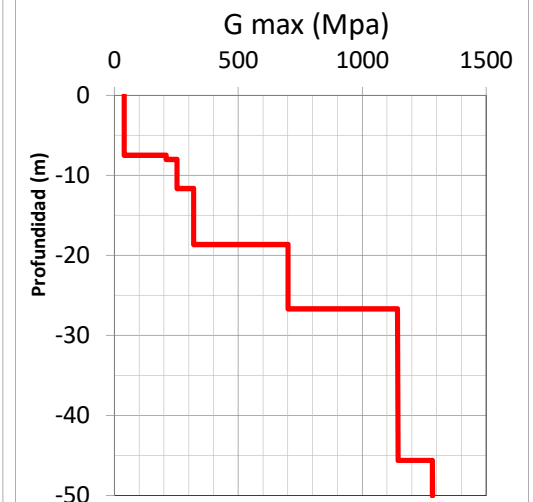
Capacidad soportante



Módulo Elástico



Módulo de Cortante Máxima



ANEXO *D*

ESPECTROS F-K



Fotografía 1: Vista del sitio de proyecto.



Fotografía 2: Vista del sitio de proyecto.



Fotografía 3: Ejecución de sondeo MASW.



Fotografía 4: Ejecución de sondeo MASW.

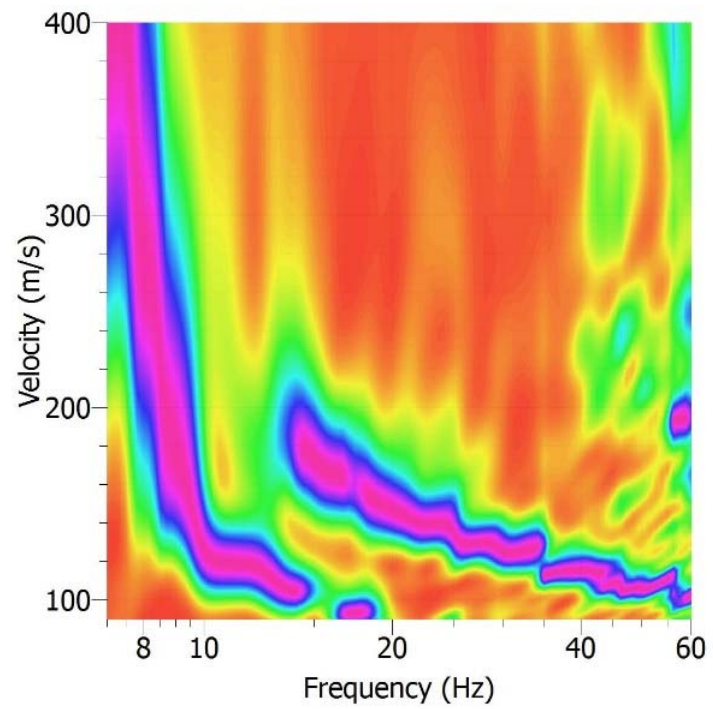
ANEXO *E*

REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO

"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-014/10/2014"

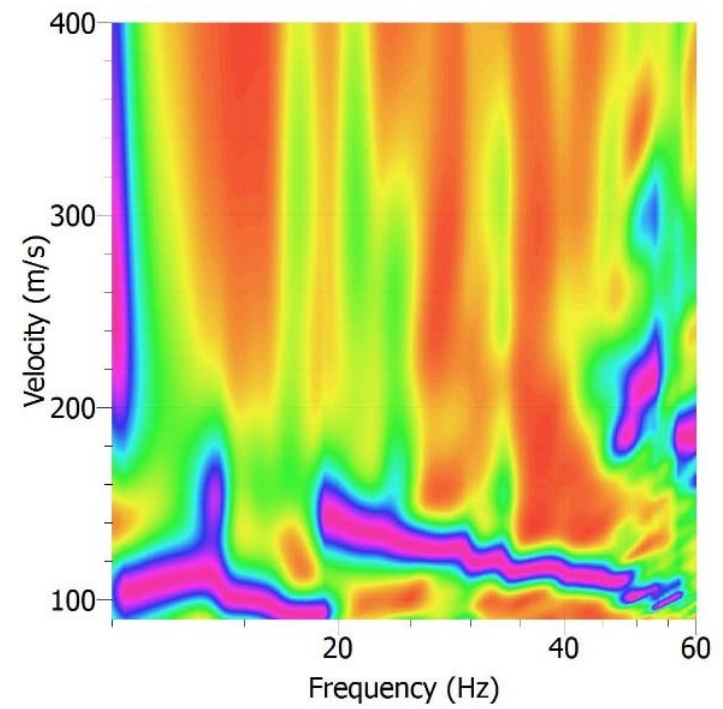
Proyecto: 060-2019

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



ESPECTRO F-K, MASW-1

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



ESPECTRO F-K, MASW-2