

SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO



CLIENTE: SENCICO

PREPARADO POR: ING YRIS PARIPANCA

DICIEMBRE, 2022

PROYECTO: 2211_SENCICO-CUSCO

INFORME FINAL

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO
ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO
SEDE CUSCO**

Para:

SENCICO

Preparado por:

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco Nro. 139 – La Victoria

Cel: +51 995377992

Lima – Perú

DICIEMBRE, 2022

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 2 de 68

TABLA DE CONTENIDO

1.0 RESUMEN	6
2.0 OBJETIVO DEL ESTUDIO	6
3.0 UBICACIÓN Y ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
4.0. METODOLOGÍA DE ENSAYOS GEOFÍSICOS.....	8
4.1 Ensayo de Refracción Sísmica	8
4.2 Fundamento del ensayo MASW	11
4.2.1 Procedimiento general de ensayo MASW	12
4.2.2 Fuente	13
4.3 Fundamento del ensayo MASW 2D	17
4.4 Fundamento del ensayo MAM.....	19
4.5 Fundamento del ensayo de Vibración Ambiental (Microtrepidaciones).....	25
4.5.1 Método de Análisis	26
4.5.1.1 Cociente Espectral	27
4.5.1.2 Espectro H/V (Nakamura)	28
4.5.1.3 Espectro de Fourier	29
4.5.2. Requerimientos técnicos para la medición de microtremores	30
4.5.2.1 Instrumentación	30
4.5.2.2 Condiciones experimentales	31
4.6 Equipos e instrumentos utilizados.....	36
4.7 Procedimiento de los trabajos de campo.....	38
4.8 Personal Geofísico	40
5.0 REGISTRO DE DATOS.....	40
6.0. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....	41
6.1. Estación SENCICO Cusco.....	41
7.0 GEOLOGÍA.	41

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 3 de 68

7.1 Contexto Geomorfológico Regional	42
7.1.1 Altiplano	42
7.1.1.1 Depresión de Cusco – Huacarpay	43
7.2 Contexto Estratigráfico Regional Cusco	44
7.3 Geología Local.....	46
7.3.1 Formación San Sebastian (Q-sa): Pleistoceno	46
7.3.1.1 Litología y ambiente de sedimentación.....	46
7.4 Mapa de peligros.....	49
7.5 Neotectónica	51
8.0 INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	53
8.1 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Refracción Sísmica	53
8.2 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MASW	54
8.3 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MASW 2D	55
8.4 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MAM	56
8.5 Procesamiento de Ensayos de Microtremor	57
9.0 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO	59
9.1 Clasificación del tipo de suelo según Building Code (IBC, 2018).....	59
9.2 Clasificación del tipo de suelo según Norma Técnica E 030 2019	60
10.0 PARÁMETROS ELÁSTICOS	61
11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
12.0 REFERENCIAS.....	67

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 4 de 68

TABLAS

- Tabla 1** : Coordinadas WGS-84 - Ensayos Geofísicos - Refracción Sísmica
- Tabla 2** : Coordinadas WGS-84 - Ensayos Geofísicos – MASW
- Tabla 3** : Coordinadas WGS-84 - Ensayos Geofísicos – MAM
- Tabla 4** : Coordinadas WGS-84 - Ensayos Geofísicos – MASW2D
- Tabla 5** : Coordinadas WGS-84 - Microtremor
- Tabla 6** : Relación de Ensayos de Refracción Sísmica
- Tabla 7** : Relación de Sondajes MASW
- Tabla 8** : Relación de Sondajes MASW2D
- Tabla 9** : Relación de Sondajes MAM
- Tabla 10** : Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas P – Refracción Sísmica
- Tabla 11** : Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S – Sondajes MASW
- Tabla 12** : Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas S – MASW2D
- Tabla 13** : Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S – Sondajes MAM
- Tabla 14** : Resumen de ensayos – Microtremor

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1.0** : Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica
- ANEXO 1.1** : Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica
- ANEXO 1.2** : Dromocrónicas
- ANEXO 1.3** : Perfiles de Refracción Sísmica
- ANEXO 1.4** : Tablas de propagación de ondas P (V_p)
- ANEXO 2.0** : Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW
- ANEXO 2.1** : Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW
- ANEXO 2.2** : Curvas de Dispersión y Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – MASW
- ANEXO 2.3** : Parámetros Elásticos del Suelo

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 5 de 68

- ANEXO 2.4** : Tablas de propagación de ondas S (Vs)
- ANEXO 3.0** : Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW 2D
- ANEXO 3.1** : Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW 2D
- ANEXO 3.2** : Curvas de Dispersión – Sondajes MASW 2D
- ANEXO 3.3** : Modelo Bidimensional de Ondas de Corte –MASW 2D
- ANEXO 4.0** : Ensayos Geofísicos – Sondajes MAM
- ANEXO 4.1** : Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MAM
- ANEXO 4.2** : Curvas de Dispersión y Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – MAM
- ANEXO 5.0** : Ensayos Geofísicos – Microtremor
- ANEXO 5.1** : Registros de Ondas Sísmicas – Microtremor
- ANEXO 5.2** : Espectro de Fourier – Microtremor
- ANEXO 6.0** : Panel Fotográfico – Geofísica
- ANEXO 6.1** : Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica
- ANEXO 6.2** : Fotografías – Geofísica – Sondajes MASW
- ANEXO 6.3** : Fotografías – Geofísica – Sondajes MASW2D
- ANEXO 6.4** : Fotografías – Geofísica – Sondajes MAM
- ANEXO 6.5** : Fotografías – Geofísica – Microtremor

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 6 de 68

1.0 RESUMEN

Se realizó el estudio geofísico por los métodos de Refracción Sísmica, MASW, MASW2D, MAM y MICROTREMOR para el proyecto **SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**. Los ensayos geofísicos se realizaron en la Sede de SENCICO ubicado en la Av. Tomasa Tito Condemayta N°441, distrito Wanchaq, provincia de Cusco, departamento de Cusco. Se distribuyeron las líneas sísmicas considerando las sugerencias del cliente en la zona de estudio, el área del terreno, fuentes de ruido y puntos de análisis definidos en gabinete. en coordinación con el área técnica de SENCICO.

La evaluación geofísica consistió en realizar la exploración del terreno por medio de ensayos de refracción sísmica, mediante las cuales se determinó la potencia de los estratos sísmicos, con la interpretación de las velocidades de ondas “P”, además se realizaron ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanal (ensayos MASW, MAM y MASW 2D) para obtener perfiles unidimensionales y bidimensionales de velocidades de ondas de corte “S”, los mismos que nos permiten calibrar adecuadamente las líneas de refracción sísmica ejecutadas. Se ejecutaron también mediciones de MICROTREMORES para hallar el periodo fundamental de vibración del suelo. Estos ensayos nos permitieron poder analizar las propiedades elásticas del subsuelo obtenidos de los perfiles sísmicos.

Luego de la aprobación y planificación de los estudios geofísicos y en coordinación con los representantes de SENCICO, se realizaron los trabajos de campo del 28 al 30 de noviembre del 2022.

2.0 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

- Recopilar información topográfica del terreno aledaño al destinado a la ubicación de la futura caseta acelerográfica de SENCICO sede Cusco: efectos topográficos, efectos de construcciones aledañas, etc.
- Realizar ensayos geofísicos de campo en el terreno de la sede de Sencico Cusco, los que incluyen: ensayos de medición de vibración ambiental (microtremores), ensayos MASW/MASW2D, ensayos MAM y de ensayos de Refracción Sísmica.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 7 de 68

La exploración geofísica sísmica fue ejecutada con el objeto de determinar la velocidad de propagación de las ondas P (V_p) mediante ensayos de refracción sísmica superficial y la velocidad de propagación de las ondas S (V_s), mediante ensayos MASW y MAM que permiten obtener perfiles unidimensionales de ondas S (V_s). Además, se realizaron ensayos MASW 2D que obtienen perfiles bidimensionales de ondas S (V_s) y ensayos de microtremor para definir el periodo de vibración fundamental del terreno de la zona de estudio.

La información obtenida es de gran utilidad para determinar en forma indirecta los espesores y las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades en el área de estudio; además nos permite calcular la velocidad promedio de ondas de corte V_{s30} , con el propósito de caracterizar sísmicamente el tipo de suelo en función del International Building Code (IBC, 2018) y la norma técnica peruana E-030 (Actualizada a febrero del 2019).

3.0 UBICACIÓN Y ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en la sede de Sencico del distrito de Wanchaq, provincia de Cusco, departamento de Cusco.

El cuadro 1 resume la ruta de acceso al proyecto, tomando como punto de partida el distrito de La Victoria – Lima.

Cuadro 1: Ruta desde La Victoria a la Sede SENCICO - Cusco.

Ruta Lima-Proyecto	Tiempo/Km.	Estado
Lima (La Victoria – SENCICO, Cusco)	1. hrs. 25 min /575 km (Aprox.)	Vuelo

El área de trabajo se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas WGS 84 UTM (19S), como se puede observar en el cuadro 2.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 8 de 68

Cuadro 2: Coordenadas Proyectadas. (UTM)/SENCICO Cusco.

COORDENADA	ESTE (m)	NORTE (m)
NW	179290	8502916
SW	179290	8502808
NE	179481	8502916
SE	179481	8502808

La Sede Sencico Cusco se encuentra a una altitud promedio de 3357 msnm a 3360 msnm, ha sido explorada mediante líneas de refracción sísmica, ensayos de Medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW, MASW2D y MAM) y ensayos de MICROTREMOR convenientemente distribuidas en función de la ubicación de las zonas de estudio.

4.0. METODOLOGÍA DE ENSAYOS GEOFÍSICOS.

Los ensayos de refracción sísmica y medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW) consisten en generar ondas vibratorias en la superficie del terreno y registrar a distancias variables el arribo de las ondas compresionales (Ondas P) y de las ondas de corte (Ondas S) respectivamente, con las cuales se determinan los cambios de velocidades a lo largo de los contactos. En los casos de los ensayos MAM y microtremor no es necesario generar ondas vibratorias ya que estos ensayos miden las vibraciones ambientales, el ensayo MAM es un arreglo bidimensional y el ensayo de microtremor es una medición puntual. Para realizar el servicio solicitado, con el alcance indicado en los objetivos, se realizaron las siguientes actividades:

4.1 Ensayo de Refracción Sísmica

El principio de la prospección sísmica se basa en generar ondas sísmicas (ondas P) con iterativas activaciones de liberación de energía mediante una comba de 20 lb (fuente), esta acción genera frentes de onda que viajan a diferentes velocidades en el medio geológico, debido a las características de la masa y/o medio, desde la fuente de energía (el punto donde se realiza el golpe que constituye la fuente) hasta los sensores (geófonos). En esas interfaces, ocurre un proceso de disgregación de la energía, por lo cual una porción de la energía continúa su propagación hacia el interior de la tierra, mientras que la otra porción va por la interface entre

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 9 de 68

los estratos sísmicos y luego regresa a la superficie, donde es registrada por dispositivos detectores (geófonos).

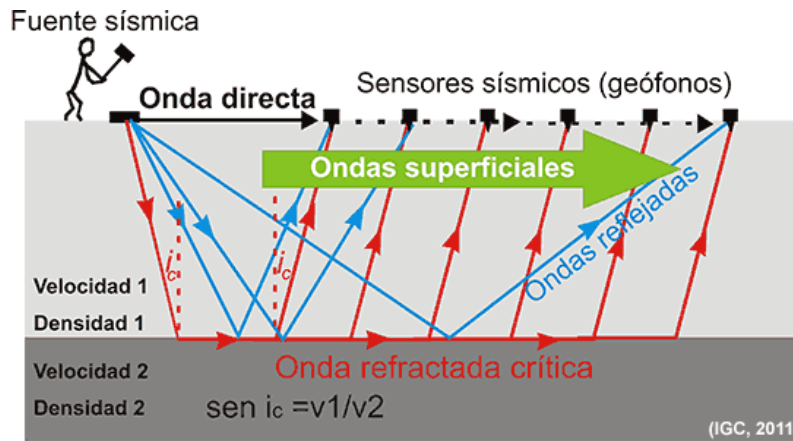


Figura 01: Esquema de la refracción sísmica y la llegada de ondas a los geófonos

El ensayo de refracción sísmica se basa en que, a mayor profundidad, la velocidad de transmisión en el medio aumenta debido a la compactación del suelo y a su composición ($V2 > V1$).

Las ondas generadas por los impactos o golpes, arriban a los geófonos después de un tiempo “t” y dependen también de la distancia “d” al martillo, de la elasticidad y densidad del medio.



Figura 02: Esquema: Tendido Sísmico Característico y Disposición de los Puntos de impacto “Shot Points”

Los arribos de las ondas producen vibraciones que son registrados en cada uno de los geófonos y estos son amplificadas por el sismógrafo y visualizados en la pantalla de una laptop. El esquema nos muestra un tendido sísmico característico y la distribución de los impactos en la línea geofísica.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 10 de 68

Las ondas que se generan son las de tipo “P” y “S”, las más usadas en los estudios de ingeniería geotécnica se producen mediante explosivos, martillo semi-hidráulico y de manera usual con un martillo y/o comba.

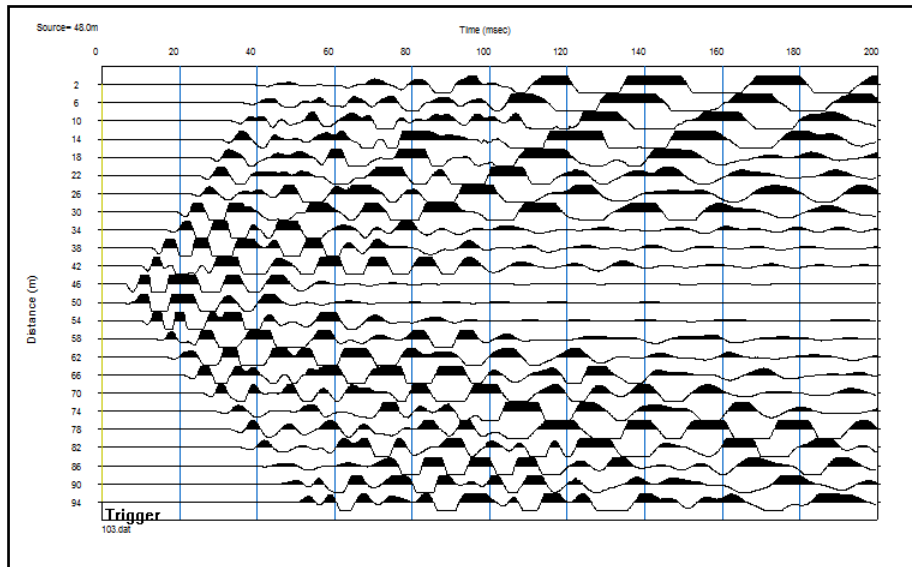


Figura 03: Figura de la llegada de ondas, el impacto se realiza al centro de la línea

Los datos consisten en tiempos de viajes y distancias, siendo el tiempo de viaje el intervalo entre el tiempo cero y el instante en que el detector empieza a responder a la perturbación. Esta información tiempo-distancia (dromocrónica) es procesada para obtener una interpretación en la forma de velocidades de propagación de ondas y la estructura de los estratos del subsuelo, según se observa en la Figura 4.

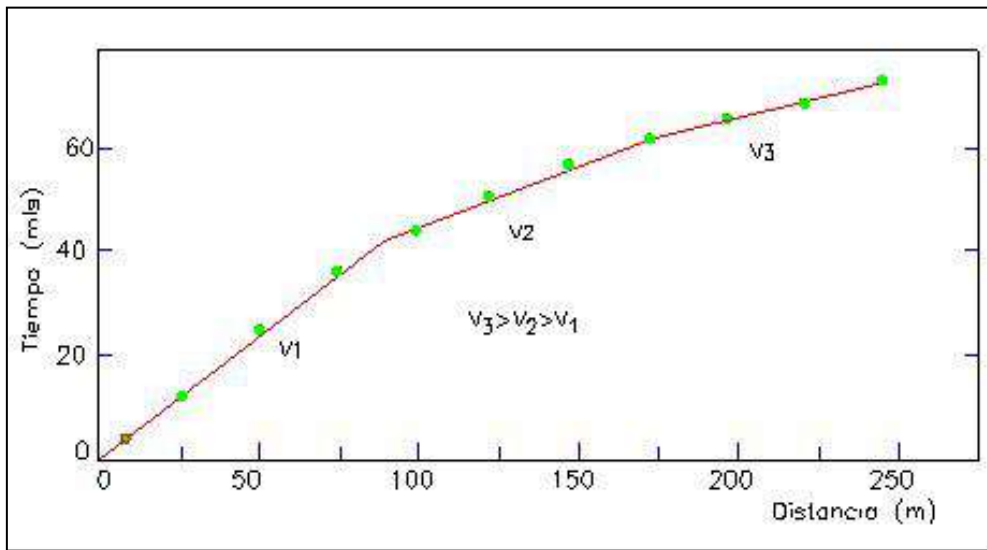


Figura 04: Dromocrónica de la llegada de ondas de un impacto, es un gráfico tiempo-distancia, regularmente la dromocrónica se construye con 3 a 5 impactos.

4.2 Fundamento del ensayo MASW

El ensayo MASW o análisis de múltiples canales de ondas superficiales permite la estimación del perfil de velocidad de ondas de corte del sitio en estudio por medio del registro y posterior análisis de ondas superficiales, generadas por una fuente activa. Presenta una serie de ventajas técnicas y logísticas que lo han llevado a ser uno de los principales métodos utilizados para definir la clasificación sísmica del suelo, según el International Building Code (IBC, 2018). Utiliza equipos semejantes a la refracción sísmica y presenta un procedimiento parecido, lo que la hace una técnica muy eficiente, combinando una buena precisión, poco tiempo de consumo por ensayo y un bajo costo de operación en relación a otras técnicas sísmicas.

Fue presentado por primera vez en la Geofísica el año 1999, el análisis de múltiples canales de ondas superficiales es uno de los métodos de investigación sísmica que evalúan la condición elástica del suelo para fines de ingeniería geotécnica. El ensayo MASW primero mide las ondas sísmicas superficiales generadas a partir de diferentes tipos de fuentes sísmicas (como un martillo), realiza el análisis de las velocidades de propagación de estas ondas de superficie, y, finalmente, calcula la variación de la velocidad de ondas de corte (V_s) por debajo de la zona de estudio a partir de un modelo patrón de velocidad de propagación de las ondas de superficie.

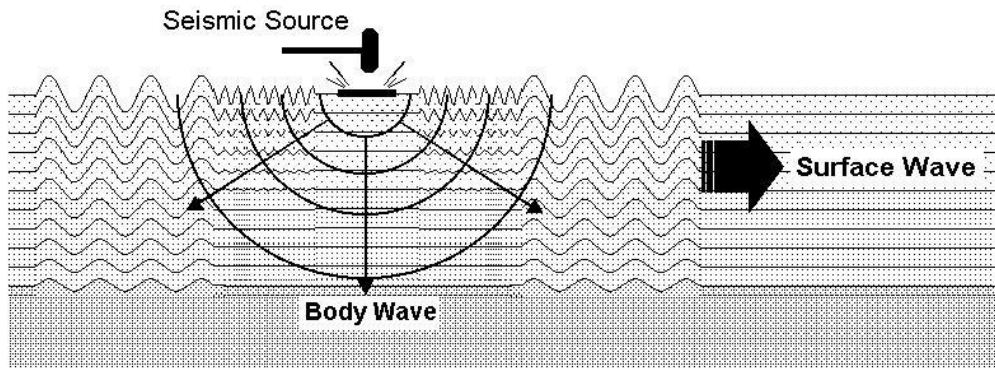


Figura 05: Dos grandes grupos de ondas sísmicas: ondas de cuerpo y superficiales. Las ondas corporales se propagan a través del cuerpo, mientras que las ondas superficiales viajan a lo largo de la superficie del medio.

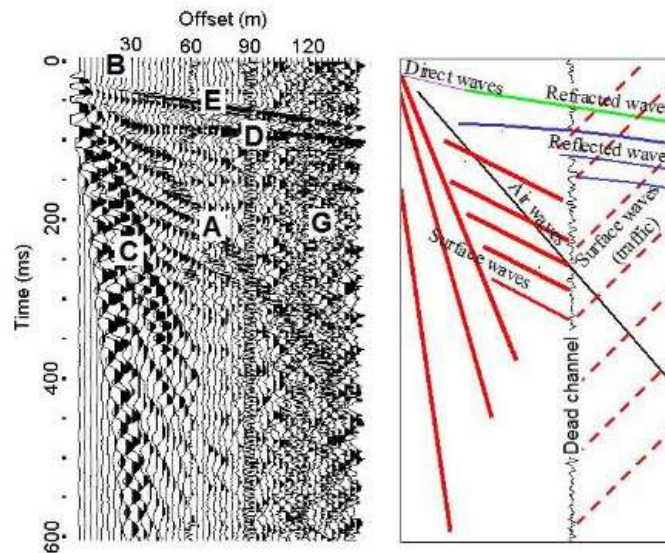


Figura 06. Un registro de campo que muestra las señales de refracción y reflexión ocultas por ondas superficiales en los datos sin procesar

4.2.1 Procedimiento general de ensayo MASW

Se detalla el procedimiento general para la ejecución del ensayo MASW. Este es el ensayo más común en la medición de las ondas de corte y la configuración general se muestra en la Fig. 07. La profundidad máxima de investigación (Z_{max}) que se puede lograr a partir del levantamiento suele estar en el rango de 10 m a 30 m, pero esto puede variar según el sitio y el tipo de fuentes de impacto activas utilizadas. Los procedimientos de campo y los pasos del procesamiento de

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 13 de 68

datos se explican brevemente en un artículo de Park (Park, C., Miller, R. y Xía, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. Nº 3. p: 800-808). Las ondas superficiales se generan mejor en un terreno "plano" dentro de al menos una longitud de extensión del receptor (D) (Fig. 07 y 08). Si este es el caso, entonces la variación topográfica general dentro de una línea de levantamiento completa no debería ser crítica. Sin embargo, cualquier relieve de la superficie cuya dimensión sea mayor que, digamos, el 10% de D provocará un obstáculo significativo para la generación de ondas superficiales (Fig. 08).

A continuación, se describen la mayoría de los parámetros relacionados con la adquisición de datos; siempre se puede esperar una ligera variación en cualquier parámetro. Se muestra un resumen de los parámetros de adquisición óptimos. Los parámetros óptimos para el ensayo MASW activo también se describen en Park et al. (2002). Sin embargo, investigadores y profesionales los actualizan continuamente, y los que se han utilizado más recientemente se enumeran en el cuadro 03.

4.2.2 Fuente

La profundidad máxima de investigación (Z_{max}) será determinada por la longitud de onda más larga (L_{max}) de las ondas superficiales utilizadas para el análisis como $Z_{max} \approx 0.5L_{max}$. Entonces, L_{max} se rige por la potencia de impacto de la fuente sísmica, que puede ser de un tipo controlado como un martillo en un levantamiento activo (o un automóvil que se mueve sobre un bache en el caso del levantamiento pasivo al borde de la carretera). En general, una L_{max} más larga (por lo tanto, una Z_{max} más profunda) se logra con una mayor potencia de impacto.

Un mazo pesado (por ejemplo, de 12 libras) puede ser una buena opción, aunque otras fuentes más sofisticadas que pueden entregar más potencia de impacto en el suelo (por ejemplo, una caída de peso de un martillo de SPT de 140 libras) pueden ser una ventaja sobre un mazo debido a su potencial para generar frecuencias más bajas (longitudes de onda más largas) de ondas superficiales. La ganancia de usar estas otras fuentes a menudo no es suficiente para justificar el costo del equipo y los inconvenientes en la operación de campo, a menos que estén cuidadosamente diseñados y contruidos. Por ejemplo, un simple aumento de la potencia de impacto no acompañado de una cuidadosa consideración del mecanismo de acoplamiento de energía puede no lograr el objetivo. El uso de una placa de impacto (también llamada placa base) ayudará a que el punto de impacto de la fuente se inmiscuya menos en el suelo. Todavía no se

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 14 de 68

ha realizado un estudio detallado sobre el papel de la placa base en la generación de ondas superficiales y debe de realizarse en un futuro cercano. Se debe consultar las tablas para conocer la fuente óptima para diferentes profundidades de investigación.

Recientemente, se ha informado de que una placa no metálica (por ejemplo, una placa de caucho o polietileno firme) puede generar una energía notablemente más fuerte en la parte de frecuencia más baja de las ondas superficiales (por ejemplo, <10 Hz) que una placa metálica convencional. Esto parece estar relacionado con la especulación de que el neumático de automóvil puede actuar como un amortiguador eficaz que libera el poder del impacto gradualmente, lo que resulta en una deformación a mayor escala de la superficie alrededor del punto de origen al evitar la deformación permanente (plástica) causada por una liberación abrupta de la potencia de un impacto. Para una investigación inusualmente superficial, se debe usar una fuente de poco peso para que la frecuencia dominante pueda cambiarse hacia frecuencias más altas (longitudes de onda más cortos).

El apilamiento vertical de impactos múltiples puede suprimir el ruido ambiental de manera significativa y, por lo tanto, siempre se recomienda, especialmente si el estudio se lleva a cabo en un área urbana.

El número óptimo de impactos de apilamiento se puede determinar cuándo hay pocos cambios en la relación señal-ruido (S/N) en el registro sísmico mostrado durante el apilamiento. A menudo se utilizan 3 a 5 apilamientos verticales (impactos). Este número, sin embargo, debería aumentar a medida que aumenta el nivel de ruido ambiental y/o aumenta la longitud total del conjunto de receptores (D).

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 15 de 68

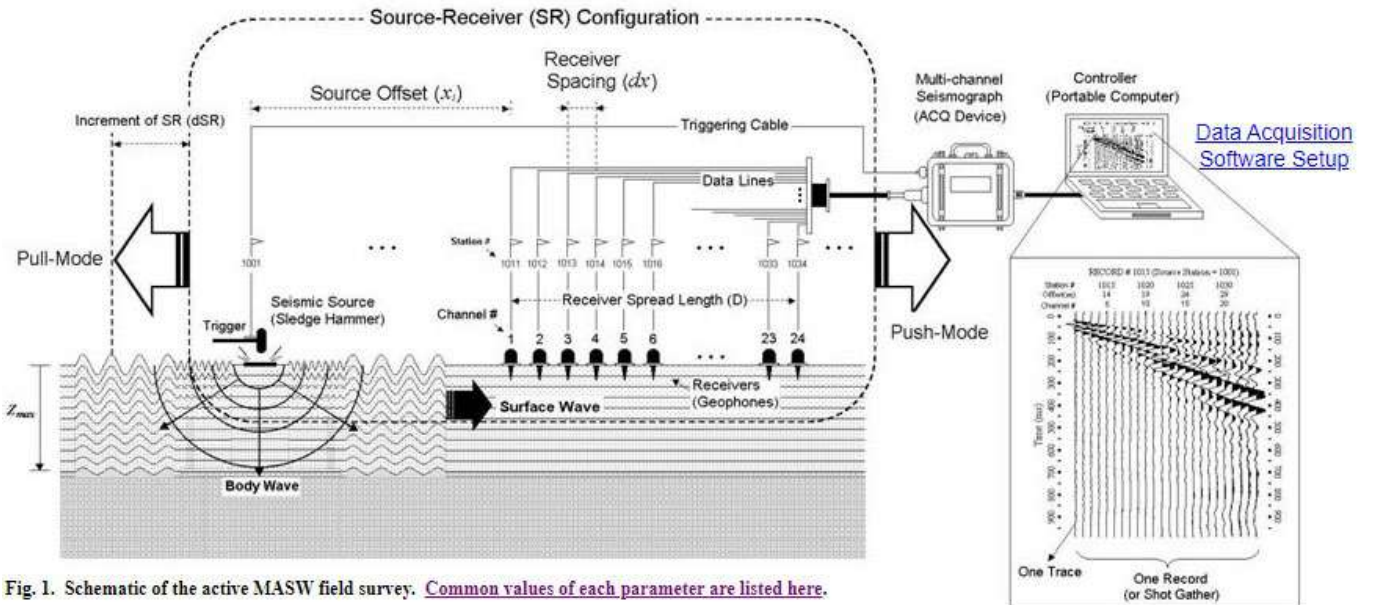


Fig. 1. Schematic of the active MASW field survey. [Common values of each parameter are listed here.](#)

Figura 07. Esquema de un ensayo MASW característico, los valores comunes de cada parámetro se muestran aquí

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 16 de 68

Cuadro 3. Parámetros de adquisición de datos para un ensayo MASW ++ (en metros)

** Valores más recomendados

Depth (Z _{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move ⁶ (dx)			Recording ⁸				
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X ₁)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	T ¹⁰ (sec)	Vertical Stack ¹¹		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5–100 (40)	1–3 (2.0)	0.2–3.0 (0.4)	0.05–0.1 (0.1)	0.02–0.05 (0.05)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (0.5)	0.5–1.0 (0.5)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
1–5	1–5 (5)	4.5–40 (10)	1–15 (10)	0.2–15 (2)	0.05–0.6 (0.5)	0.02–0.3 (0.25)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (0.5)	0.5–1.0 (0.5)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
5–10	5–10 (10)	≤ 10 (4.5)	5–30 (20)	1–30 (4)	0.2–1.2 (1.0)	0.1–0.6 (0.5)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (0.5)	0.5–1.0 (1.0)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
10–20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10–60 (30)	2–60 (10)	0.4–2.5 (1.5)	0.2–1.2 (1.0)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (0.5)	1.0–2.0 (1.0)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
20–30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20–90 (50)	4–90 (10)	0.8–3.8 (2.0)	0.4–1.9 (1.5)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (1.0)	1.0–2.0 (1.0)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
30–50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30–150 (70)	6–150 (15)	1.2–6.0 (3.0)	0.6–3.0 (2.0)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (1.0)	1.0–3.0 (1.0)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)	1–2 (1)	2–4 (2)	4–12 (4)	0.5–1.0 (1.0)	≥ 1.0 (2.0)	1–3 (3)	3–5 (5)	5–10 (10)

** Values listed here are by no means definitive and required. There can always be a tolerance of, at least, ±20% to the most recommended values.

¹ maximum depth to be investigated, ² weight of hammer in pounds, ³ natural frequency of geophone, ⁴ approximate total length of receiver spread (D ≈ mZ_{max} with 1 ≤ m ≤ 3), ⁵ distance between source and the closest receiver (X₁ ≈ κD with 0.2 ≤ κ ≤ 1.0), ⁶ distance in receiver spacing (dx) that the source (S) and receiver (R) setup moves after acquiring data at one location, ⁷ degree of lateral resolution being sought, ⁸ recording parameters for seismograph, ⁹ sampling interval in milliseconds (ms), ¹⁰ total recording time in seconds (sec), ¹¹ number of stacking data in seismograph's memory before being saved under different conditions of calm (C), noisy (N), and very noisy (VN) environment, respectively, ¹² acquisition filter (e.g., low-cut, high-cut, etc.), *24-channel acquisition system.

Hay que tener en cuenta en los ensayos MASW y MAM que los geófonos deben de colocarse en superficies casi planas o con una pendiente no muy pronunciada y constante, como se muestra en la figura 08, la diferencia de cotas entre los geófonos (d) no debe exceder el valor de 0.1 D (D= longitud de la línea de geófonos).

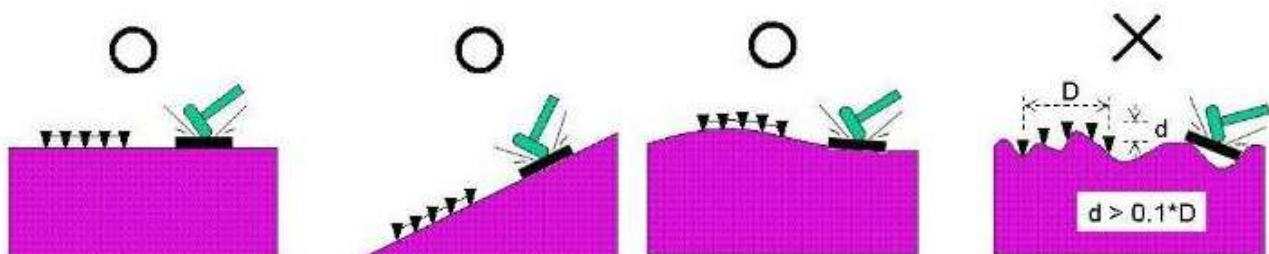


Figura 08. Condiciones de terreno típicas favorables y desfavorables para el ensayo MASW, como se ve en la última figura que el valor excede 0.1 D

La velocidad de ondas de corte (V_s) permite hallar una de las constantes elásticas y está estrechamente relacionado con el módulo de Young. Bajo la mayoría de circunstancias, V_s es un indicador directo de la rigidez del suelo y por lo tanto se utiliza comúnmente para estimar la capacidad de soporte de carga. Después de un procedimiento relativamente simple, se puede definir V_s por medio de los modelos 1-D, 2-D y 3-D.

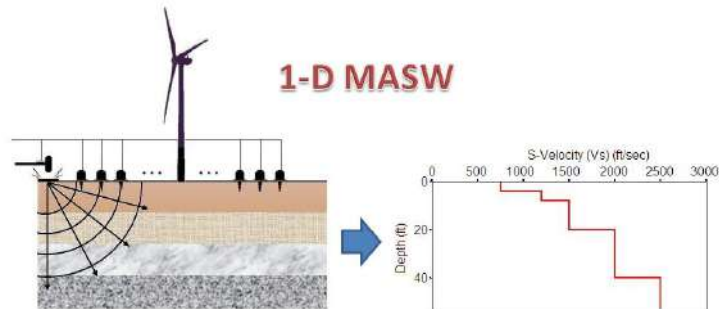


Figura 09: Modelo Unidimensional de ondas de corte (MASW 1D)

4.3 Fundamento del ensayo MASW 2D

Los ensayos MASW 2D o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal consisten en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea (Figura 09).

Teniendo como base los ensayos unidimensionales MASW, una sección en dos dimensiones de velocidades de ondas S puede ser construido mediante la adquisición múltiple de perfiles 1-D de ondas S, los cuales, separados cierta distancia, abarcarán la longitud de la línea requerida según los alcances del estudio, generándose un mapa 2-D final (Figura 10) el cual es construido usando un esquema de interpolación espacial que reúne todos los perfiles 1-D que conforman la línea sísmica. Este método proporciona de manera consistente valores confiables de velocidades de ondas S hasta los primeros 30 metros debajo de la superficie del terreno. En el caso del presente estudio, debido a las características óptimas del terreno donde se realizaron los ensayos MASW-2D, estos han alcanzado profundidades de exploración que van hasta los 30

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

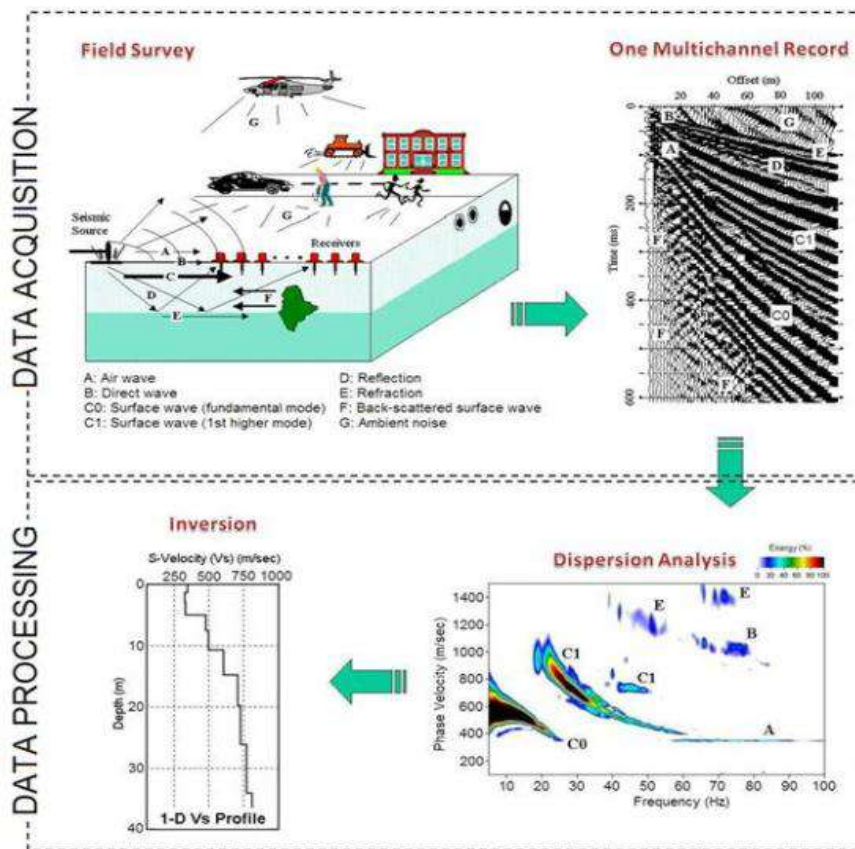
INFORME FINAL

Página 18 de 68

metros. En la Figura 10 se muestra el procedimiento desde la adquisición de la data sísmica hasta la obtención de un perfil bidimensional de velocidades de ondas S.

El perfil 2D de ondas de corte Vs (Superficie y profundidad) es construido a través de una interpolación apropiada de varios perfiles 1D efectuados a lo largo de la línea de estudio. Hay que recordar que cada ensayo corresponde al punto medio de la línea de los receptores (o geófonos).

Esta imagen bidimensional de ondas de corte MASW-2D permite visualizar con mayor detalle algunas anomalías de terreno en estudio, en particular zonas de compacidad bajas entre otras zonas de mayor compacidad, detección de cavidades o karsticidades; además es muy importante para la exploración de los suelos para la cimentación de puentes, presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación, se correlaciona muy bien con las perforaciones diamantinas y resultados de los ensayos SPT, constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros elásticos del suelo de fundación.



ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

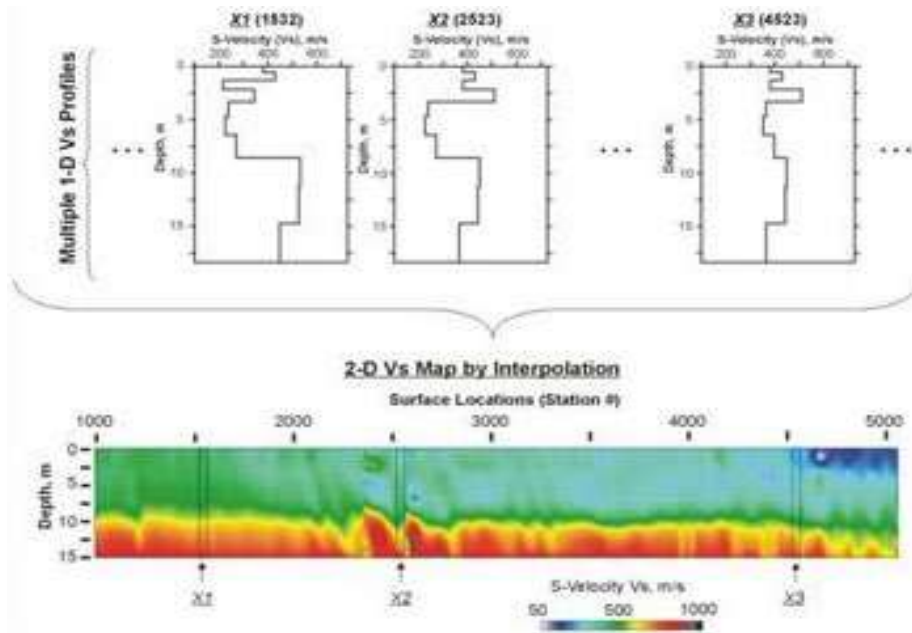


Figura 10: Procedimiento global de velocidades de ondas S. Fuente: Kansas Geological Survey
www.kgs.lu.edu/software/surfseis
www.masw.com/Vs2DInversion.html

4.4 Fundamento del ensayo MAM

El ensayo MAM o Análisis de Microtrepidaciones en Arreglo Multicanal es un método pasivo de exploración geofísica basado en el análisis de los microtremores. Utiliza geófonos verticales de 4.5 Hz en un arreglo instrumental bidimensional sobre la superficie y el análisis de los datos registrados se puede realizar con métodos de dispersión de ondas superficiales o por medio de las características de las capas superficiales.

Este método permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea, como puede verse en la Figura 11.

La combinación de los métodos MASW y MAM, permite obtener perfiles de ondas S hasta profundidades promedio de 40 hasta 80 m, en algunos casos, se ha logrado alcanzar profundidades de hasta 100 m. Esto es muy importante cuando se estudia estructuras bastante pesadas, que van a esforzar al suelo en mayor medida, también nos permite analizar mejor la

cimentación de puentes, presas de agua, presas de tierra, pads de lixiviación y estructuras con cimentación profunda (edificaciones con varios sótanos), obtenemos buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizado perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros dinámicos del suelo de fundación.

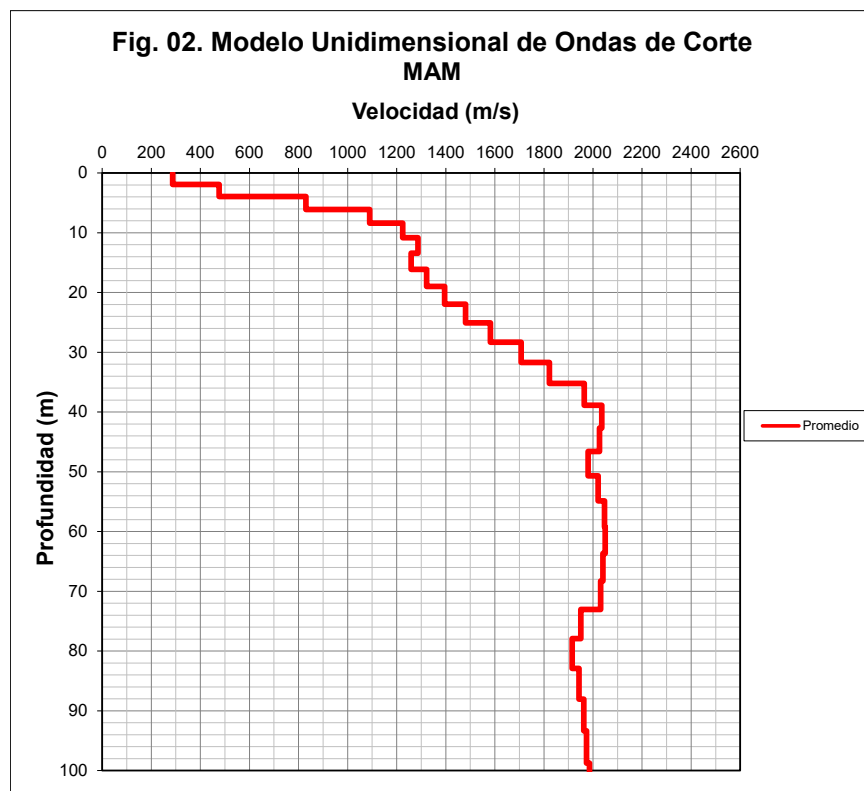


Figura 11: Perfil de velocidades de Ondas S Método MAM

Los arreglos de adquisición de datos de los ensayos MAM pueden ser efectuados con diferentes figuras geométricas, las más comunes son realizarlas en forma de L, como se puede apreciar en la figura 12.

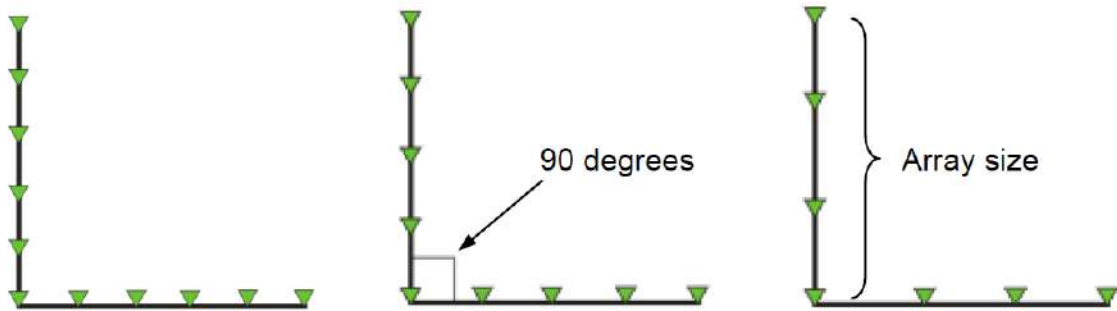


Figura 12: Configuraciones en forma de L de un arreglo MAM con 11 (L11), 9 (L9) y 7 (L7) geófonos

No son las únicas formas de arreglos en forma de L, también se pueden realizar con 13, 15, 17, 19, 21 o 23 geófonos, para ello se va a tener que ingresar la información de la forma de colocación de los geófonos en un formato TXT, ingresando las coordenadas de cada geófono en un plano cartesiano previamente diseñado por el usuario, de esta manera puede incrementarse también el espaciamiento entre los geófonos y aumentar la profundidad de investigación.

Para una matriz en forma de L, el ángulo entre las ramas de la L es típicamente de 60 a 90 grados, pero técnicamente puede ser tan grande como 180 grados, lo que la convertiría en una línea. Ambas ramas tienen la misma longitud; el tamaño del arreglo o matriz (array size) es igual a la longitud de las ramas. La curva Vs resultante es un promedio de la matriz y, en consecuencia, debe ubicarse esencialmente en el origen o cerca del origen entre las dos ramas de la línea en L (en el punto central del arreglo).

Existen otras formas de arreglos de adquisición de datos de los ensayos MAM, como se muestran en las siguientes figuras triangulares o circulares:

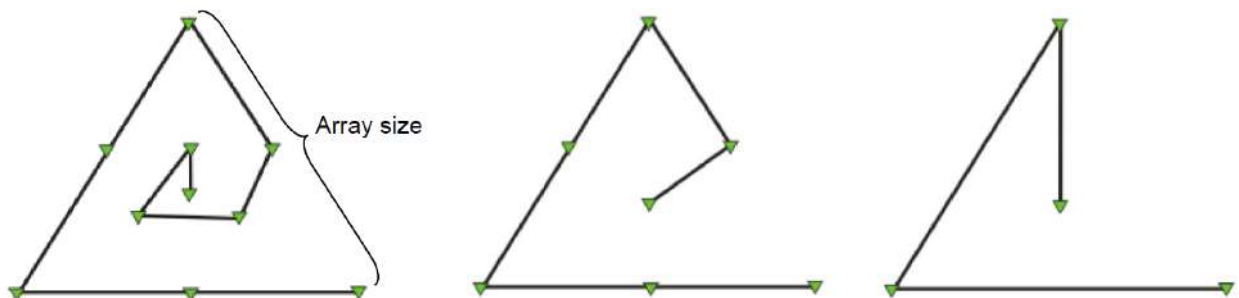


Figura 13: Configuraciones en forma de triangular de un arreglo MAM con 10, 7 y 4 geófonos.

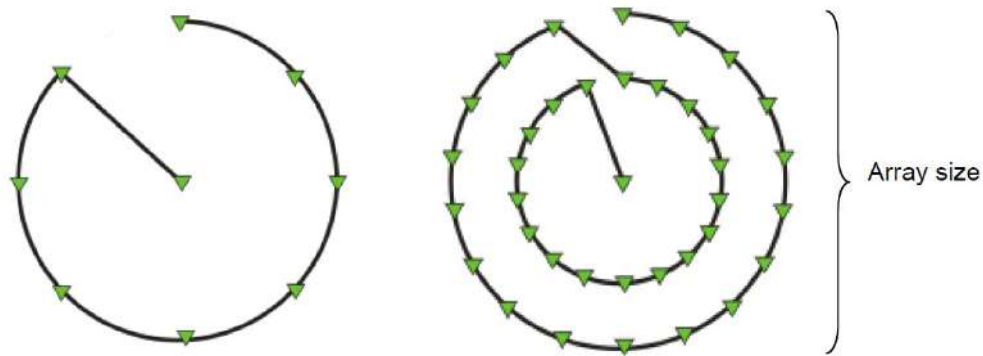


Figura 14: Configuraciones en forma circular de un arreglo MAM con 9 y 37 geófonos.

Inclusive se pueden hacer arreglos de sensores en forma aleatoria, en cruz, en forma de cuadrado, etc., como se muestra en las siguientes figuras:

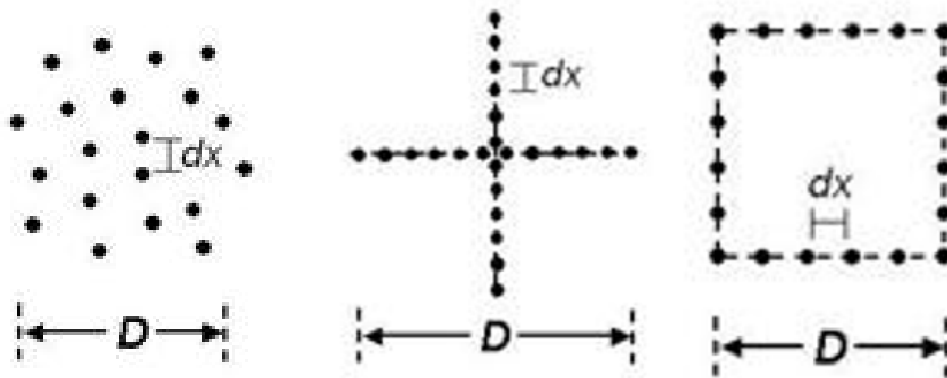


Figura 15: Configuraciones en forma aleatoria de un arreglo MAM con 20 geófonos, de un arreglo en cruz de 24 geófonos y de un arreglo cuadrado de 20 geófonos.

Hay que tener en cuenta que en un arreglo lineal de MAM, si los ruidos ambientales se propagan a lo largo de la línea (paralela a ella), la velocidad de fase se puede calcular directamente., como se observa en la figura 16.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 23 de 68

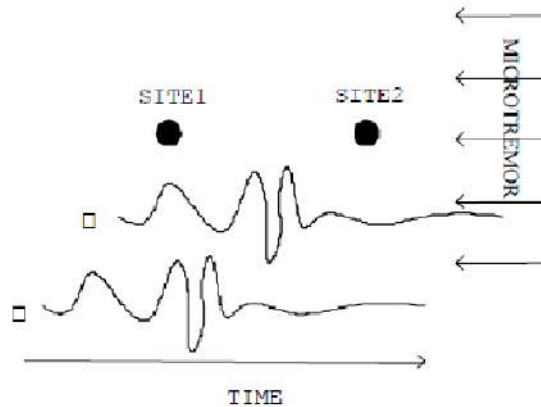


Figura 16: La microtrepidación se propaga paralela a la línea de los geófonos, la velocidad de fase se calcula directamente

En este caso, si los ruidos ambientales se propagan en forma oblicua a la línea de los geófonos, si el ángulo de incidencia es conocido, la velocidad de fase se puede calcular; si el ángulo de incidencia no se conoce, la velocidad aparente es mayor que la velocidad de fase real.

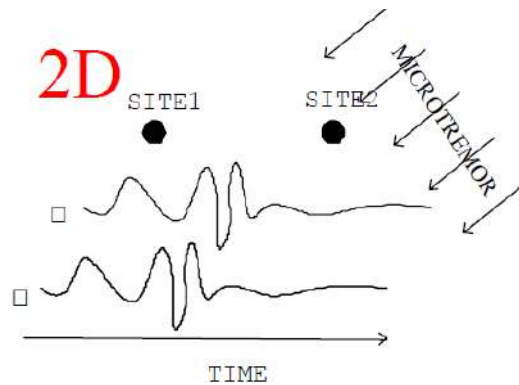


Figura 17: La microtrepidación se propaga oblicuamente a la línea de los geófonos, la velocidad de fase se puede calcular si se conoce el ángulo de incidencia

Si se va a tomar datos de ensayo MAM en forma lineal, hay que tener cuidado que los ruidos ambientales puedan incidir sobre la línea con los geófonos en forma perpendicular a ella, cuando la vibración ambiental se propaga de esta forma (vertical a la línea) lo más probable es que no se pueda calcular la velocidad de fase de esta línea y tampoco conseguir las ondas de corte. La figura 18 muestra este esquema.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 24 de 68

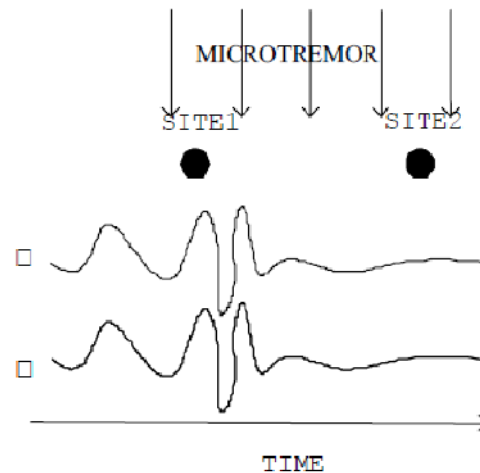


Figura 18: La microtrepidación se propaga perpendicular a la línea de los geófonos, la velocidad de fase no se puede calcular adecuadamente.

Cuando no se conoce la dirección de la propagación antes de medir la microtrepidación y es necesario estudiar la zona de estudio, se tiene que realizar una medición de ondas estacionaria estocástica, para ello se necesita un arreglo de los sensores isotrópico, es recomendable un arreglo triangular y circular, como se muestra en la figura 19.

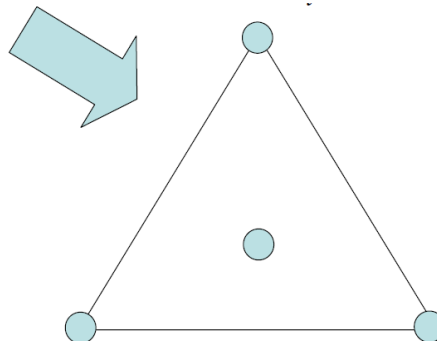


Figura 19: Un arreglo de sensores isotrópico es necesario, como esta configuración triangular.

En conclusión, no es recomendable realizar arreglos MAM lineales, se deben de realizar al menos en arreglos de forma de L u otra figura geométrica. El arreglo lineal solo se debe de realizar si ya se han agotado las otras formas de gráfica de los ensayos MAM, además de realizar una verificación con un pre-procesamiento de los datos que se están adquiriendo en ese momento, de forma de tener una velocidad de fase adecuada. En el presente caso, uno de los ensayos MAM se realizó en forma lineal y se verificó con la velocidad de fase que había un comportamiento adecuado.

4.5 Fundamento del ensayo de Vibración Ambiental (Microtrepidaciones).

El período de vibración del suelo es un parámetro dinámico que define el comportamiento sísmico de un determinado lugar. En la actualidad, este parámetro es normalmente obtenido de las mediciones de microtremores.

Los microtremores son conocidos como microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004). Lermo (1992) y Lermo y Chávez-García (1994) definen los microtremores como vibración o ruido ambiental.

Estas vibraciones están conformadas básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se miden (Bard, 1998). De acuerdo a la frecuencia los microtremores son originados por:

- A bajas frecuencias (por debajo de 0.3 Hz a 0.5 Hz) son causados por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias.
- A frecuencias intermedias (0.3 - 0.5 Hz y 1 Hz) los microtremores son generados por las olas del mar cercanas a las costas.
- Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz), las fuentes están ligadas a la actividad humana.

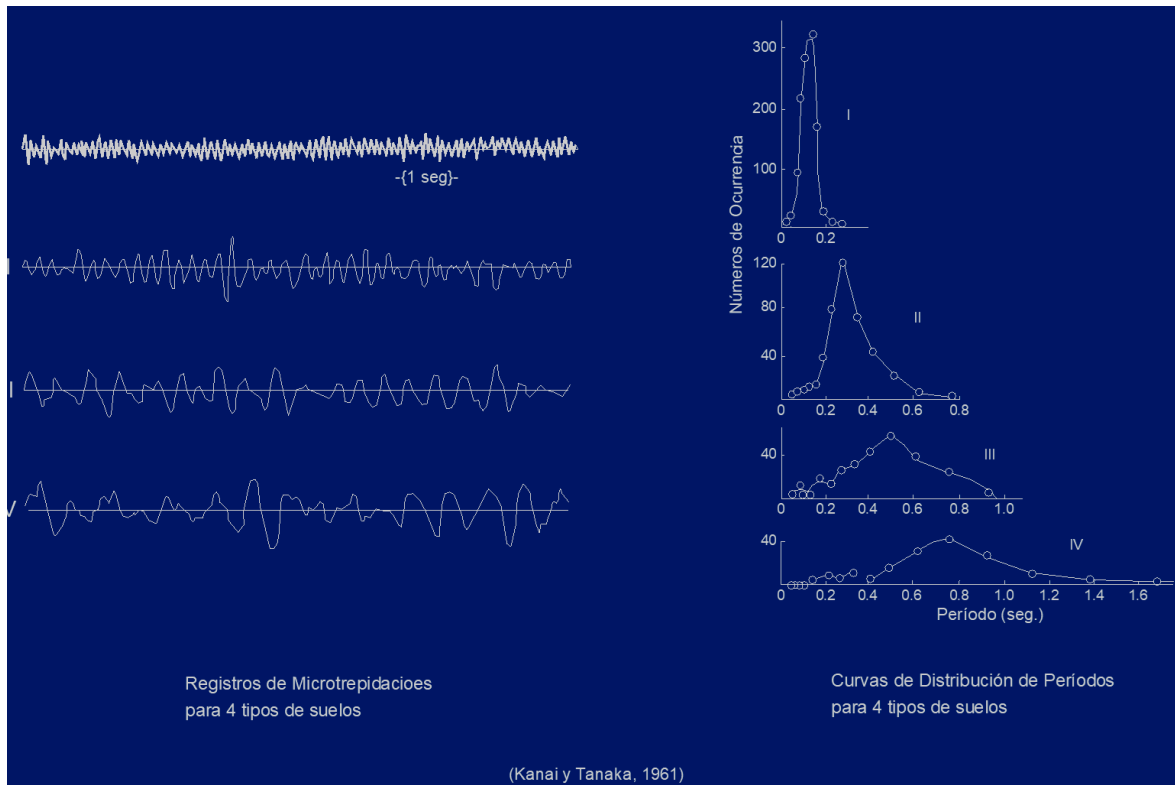


Figura 20: Registros y curvas de periodos para 04 tipos de suelos (Kanai y Tanaka,1961).

La técnica de medición de microtremores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtremores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas, o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para definir este tipo de vibraciones, que tiene periodos cortos y sus amplitudes son más pequeñas que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtrepidaciones”.

4.5.1 Método de Análisis

Existen varios métodos para analizar los microtremores y estimar el periodo fundamental de vibración del suelo.

4.5.1.1 Cociente Espectral

El método del cociente espectral es el más simple de los métodos de análisis. Con este método se estima la respuesta de sitio a partir del análisis espectral de los microtemores, utilizando el espectro de amplitudes de Fourier.

En general, estos espectros no presentan un sólo pico máximo que defina claramente el periodo fundamental, dificultando su interpretación. Se concluye que sólo se puede obtener una estimación muy gruesa de la respuesta de sitio, es decir una estimación del intervalo donde podría ubicarse el periodo fundamental de vibración de las capas superficiales del suelo, y no brinda una información útil de la amplificación (Lermo, 1992).

La deficiencia más importante de este método es que en ningún momento se separa los términos de la fuente, y este tipo de análisis espectral de microtemores brinda más información sobre la fuente que sobre las características de la respuesta de sitio (Tokimatsu, 1997).

El método del cociente espectral conocido también como cociente espectral estándar respecto a un sitio de referencia, fue propuesto para el análisis de datos de sismos (Borcherdt, 1970) que están compuestos por los términos de fuente, trayectoria y efecto de sitio. En la actualidad es uno de los métodos más utilizados para la estimación de funciones de transferencia empíricas tanto de datos de sismos como con datos de microtemores (Flores, 2004).

Para la aplicación de este método se necesitan registros de microtemores en dos estaciones, una de las cuales debe ser considerada como estación de referencia, es decir que su respuesta de sitio sea despreciable.

Cuando se aplica este método a registros sísmicos, se compensa las contribuciones de fuente y trayectoria, pero si se emplean registros de microtemores que dependen en su mayoría de fuentes locales, el cociente espectral que se obtiene no necesariamente compensa la contribución de la fuente en los registros.

Se concluye que, si los registros de microtemores son estacionarios, con este método se puede estimar el periodo fundamental (Lermo, 1992), pero esta técnica no siempre garantiza la obtención de este parámetro y en general sobrestima la amplificación (Gutierrez y Singh, 1992).

4.5.1.2 Espectro H/V (Nakamura)

El método de espectro H/V fue propuesto por Nakamura (1989) y es conocido como el cociente espectral H/V ya que realiza el cociente del espectro de Fourier de las componentes horizontales del registro de microtremores entre el espectro de Fourier de la componente vertical. El cociente obtenido permite estimar el periodo fundamental.

Este método es el más utilizado para analizar los registros de microtremores por su bajo costo y corto tiempo de aplicación, sin embargo, es el más discutido por sus bases teóricas y sus resultados (Flores, 2004).

El espectro H/V presenta en teoría, un máximo en el periodo fundamental del suelo. Generalmente, para este periodo la curva muestra un pico bien definido por valle-cresta-valle. Estos picos son más definidos en suelos formados por depósitos blandos, mientras son más anchos en suelos duros o intermedios, o compuestos de materiales heterogéneos (Ordaz y Veras, 2003).

En general, cuanto mayor sea el contraste entre los depósitos de suelo y el semi-espacio o estrato duro resistente, se tendrá una mejor definición en los picos del espectro H/V y se podrán identificar más fácilmente los periodos fundamentales.

El uso de estudios de vibración ambiental resulta económico y los resultados se obtienen con relativa facilidad, rapidez y ventaja, desde el punto de vista de la caracterización de la respuesta dinámica sobre todo en sitios donde no se cuenta con información acelerográfica (Ordaz y Veras, 2003).

En el presente estudio, se ha empleado la relación o cociente espectral H/V propuesta por Nakamura (1989) para estimar el periodo fundamental de vibración del suelo. El espectro H/V puede ser expresado en términos de una o dos componentes horizontales, lo cual se muestra en la siguiente relación.

$$H/V = S_{NS}/S_V \quad (1.a)$$

$$H/V = S_{EW}/S_V \quad (1.b)$$

$$H/V = \frac{\sqrt{S_{NS}^2 + S_{EW}^2}}{S_V} \quad (1.c)$$

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 29 de 68

Actualmente se sabe que el periodo fundamental del suelo determinado por medición de microtremores tiene una gran correlación con los efectos de sitio, aun cuando la respuesta dinámica del suelo durante movimientos severos no es exactamente predicha por el análisis de los microtremores.

Para obtener valores de período fundamental confiables, se utiliza el criterio SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), el cual brinda recomendaciones en terreno, análisis y verificación posterior de datos y resultados. Las mediciones en terreno se hicieron a través de un sismómetro triaxial, el cual capta y graba vibraciones ambientales en la superficie del terreno en dirección Norte-Sur, Este-Oeste y en sentido vertical, como vemos este es un método de medición no intrusivo y de bajo costo.

La metodología de obtención de datos en el terreno según las recomendaciones dadas por el criterio SESAME deben ser contrastadas con un adecuado procesamiento de datos de microtremor. El procesamiento de los datos obtenidos en terreno se hace utilizando un software libre GEOPSY, los resultados serán comparados y verificados por medio del criterio SESAME y de la experiencia de procesamiento de datos para finalmente obtener las curvas resultantes de periodos fundamentales.

4.5.1.3 Espectro de Fourier

El espectro de amplitud de Fourier permite conocer el contenido de frecuencia de un movimiento sísmico, está influenciado por el movimiento del suelo con el tiempo y nos muestran formas características.

Tiene múltiples finalidades usos, se utiliza para estudiar mecanismos de origen, la amplificación local de ondas incidentes, efectos de las irregularidades topográficas y estudios de la interacción suelo-estructura.

Como es una señal compleja, se representa como la suma de varias señales simples y cada una, es una onda sinusoidal con su propia amplitud y frecuencia. El espectro de Fourier representa en el eje de las ordenadas, la frecuencia y en el eje de las abscisas, la amplitud máxima, para cada una de las ondas sinusoidales que constituyen un registro sísmico.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 30 de 68

El análisis frecuencial de una señal sísmica es estudiado utilizando el espectro de amplitud de Fourier. Generalmente se utiliza una o dos de las componentes horizontales para graficar el espectro de Fourier, obtener la frecuencia dominante y así, el periodo fundamental del suelo.

En ocasiones se encontraron discrepancias en los resultados obtenidos entre ambas componentes horizontales de una misma estación acelerográfica o sismográfica (Suarez, 2020).

En el presente caso, en Sencico Cusco, se ha encontrado una buena correlación de los valores del espectro de Fourier en sentido Norte Sur y Este Oeste, por lo que se ha tomado el promedio de ambos, que estuvieron muy cercanos en valores de periodos fundamentales.

4.5.2. Requerimientos técnicos para la medición de microtremores.

Se deben considerar ciertos parámetros que influyen en la calidad y fiabilidad en los datos. La toma de datos en las ciudades se lleva a cabo en el siguiente contexto:

- Ruido antrópico muy alto (generados por la actividad humana)
- En la mayoría de las ocasiones la toma de datos se realiza sobre el asfalto, pavimento, concreto, y en menor medida sobre el suelo.
- Las mediciones se realizan en un entorno dominado por edificios.
- Las grabaciones no siempre se realizan al mismo tiempo y bajo las mismas condiciones climáticas.
- La presencia de estructuras subterráneas es a menudo desconocida.

La influencia de estas situaciones debe ser considerada y manejarla de la mejor forma para tener una calidad óptima en los datos.

4.5.2.1 Instrumentación

Influencia del digitalizador: Con la finalidad de tener buenos resultados y que la calidad de los datos a obtener sea óptima, se recomienda hacer pruebas de sensibilidad experimental, ruido electrónico, estabilidad del equipo, sincronización entre canales, además del GPS.

Influencia del sensor: Para hacer mediciones de microtremores, no se recomienda usar acelerómetros, ya que no son lo suficientemente sensibles para frecuencias inferiores a

1 Hz, en las cuales se encuentran los microtremores. No es recomendable utilizar sismómetros de banda ancha (de periodo natural superior a 20 s) ya que requiere un tiempo de estabilización prolongado. No utilizar sensores que tengan su frecuencia natural por encima de la frecuencia más baja a la de interés.

4.5.2.2 Condiciones experimentales

Antes de realizar las mediciones en campo, se recomienda tener un panorama general de la geología presente en la zona de estudio, tales como el tipo de formaciones geológicas, la posible profundidad del basamento y las estructuras presentes en la zona

A) Parámetros de grabación:

- Verificar que la ganancia en el equipo sea la adecuada para no saturar la señal.
- Es suficiente 50 Hz en frecuencia de muestreo, ya que la frecuencia máxima de interés en ingeniería no es superior a 25 Hz, aunque las tasas de muestreo más altas no influyen en los resultados de H/V.
- La longitud del cable para conectar el sensor al digitalizador no influye en los resultados de H/V, al menos hasta una longitud de 100 m.

B) Duración de grabación:

- Para que la medición sea confiable, se recomienda que se cumpla la siguiente condición: $f_0 > \frac{10}{l_w}$
- Se recomienda un gran número de ventanas (mínimo 10)

Cuadro 4: Duración de grabación recomendada

f_0 [Hz]	Valores mínimos para l_w [s]	Número mínimo de ciclos (n_c)	Número mínimo de ventanas	Duración mínima de la señal útil	Duración mínima de grabación [min]
0.2	50	200	10	1000	30
0.5	20	200	10	400	20
1	10	200	10	200	10
2	5	200	10	100	5
5	5	200	10	40	3
10	5	200	10	20	2

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 32 de 68

Donde:

- f_0 = Frecuencia pico H / V
- l_w = longitud de la ventana (seg)
- n_w = número de ventanas seleccionadas para la curva H / V promedio
- $n_c = l_w * n_w * f_0$ = número de ciclos significativos

Puesto que siempre habrá ruidos transitorios durante la grabación, estos se deben eliminar para su procesamiento, y se debe aumentar la duración de la grabación para una buena calidad en los registros.

Para un estudio de efecto de sitio se recomienda realizar por lo menos tres puntos de medición.

C) Medición de sensor en suelo

Hacer las mediciones sobre concreto o el asfalto proporciona buenos resultados por la estabilidad en que se encuentra el sensor, a diferencia de hacer las mediciones en suelo suave, ya que se cuenta con poca estabilidad (SESAME, 2004).

- El sensor debe instalarse directamente en el suelo, en superficie plana sin obstáculos. Habrá ocasiones que no se tenga la superficie ideal por lo que se recomienda tomar en cuenta las especificaciones de la siguiente sección.
- El asfalto o concreto no afecta a los resultados del cociente H/V, ver la figura 21 que muestra la comparación con y sin asfalto, en el mismo sitio
- En el caso que existiera hierba donde se hará la medición, se debe tener la debida precaución que el sensor esté en buen contacto con el suelo y no se coloque sobre hierba alta doblada. En tal caso, es mejor quitar la hierba alta antes de instalar el sensor. Si las mediciones se realizan sobre hierba y viento puede conducir a resultados nada confiables por debajo de 1 Hz, como lo muestra en la figura 22.
- Evitar colocar el sensor en suelos suaves, tales como lodo, suelo arenoso o cubiertas artificiales.
- Evitar grabar en suelos saturados de agua, por ejemplo, después de fuertes lluvias.
- Evitar grabar en grava suelta, ya que el sensor no se acoplará correctamente al suelo y no tendrá estabilidad. Es sumamente importante antes de iniciar con la grabación, instalar el sensor sobre una superficie firme y estable.

- Si se requiere hacer grabaciones en zonas en hielo o nieve, se recomienda compactar la nieve e instalar el sensor sobre una placa de metal o de madera para evitar la inclinación del sensor debido a la fusión local bajo los soportes del sensor. Cuando grabe en tales condiciones asegúrese de que la temperatura esté dentro de las especificaciones dadas por el fabricante para el equipo.

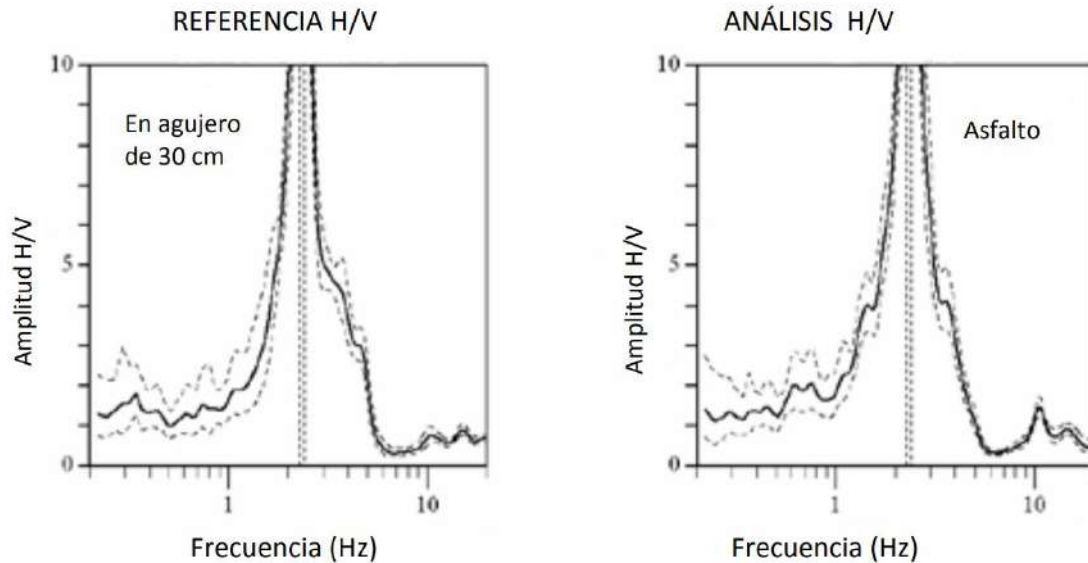


Figura 21: Comparación de las curvas H/V obtenidas con y sin asfalto, en el mismo sitio (Fuente SESAME, 2004)

En la Figura 22 podemos ver la comparación de las curvas H/V obtenidas en el mismo sitio sobre hierba sin viento y con viento (parte superior), en un agujero con viento y sobre asfalto con viento (parte inferior). La comparación muestra el fuerte efecto que tiene el viento combinado con la hierba, mientras que en el asfalto o en un agujero, el viento no tiene efecto significativo (siempre y cuando esté alejado de cualquier estructura)

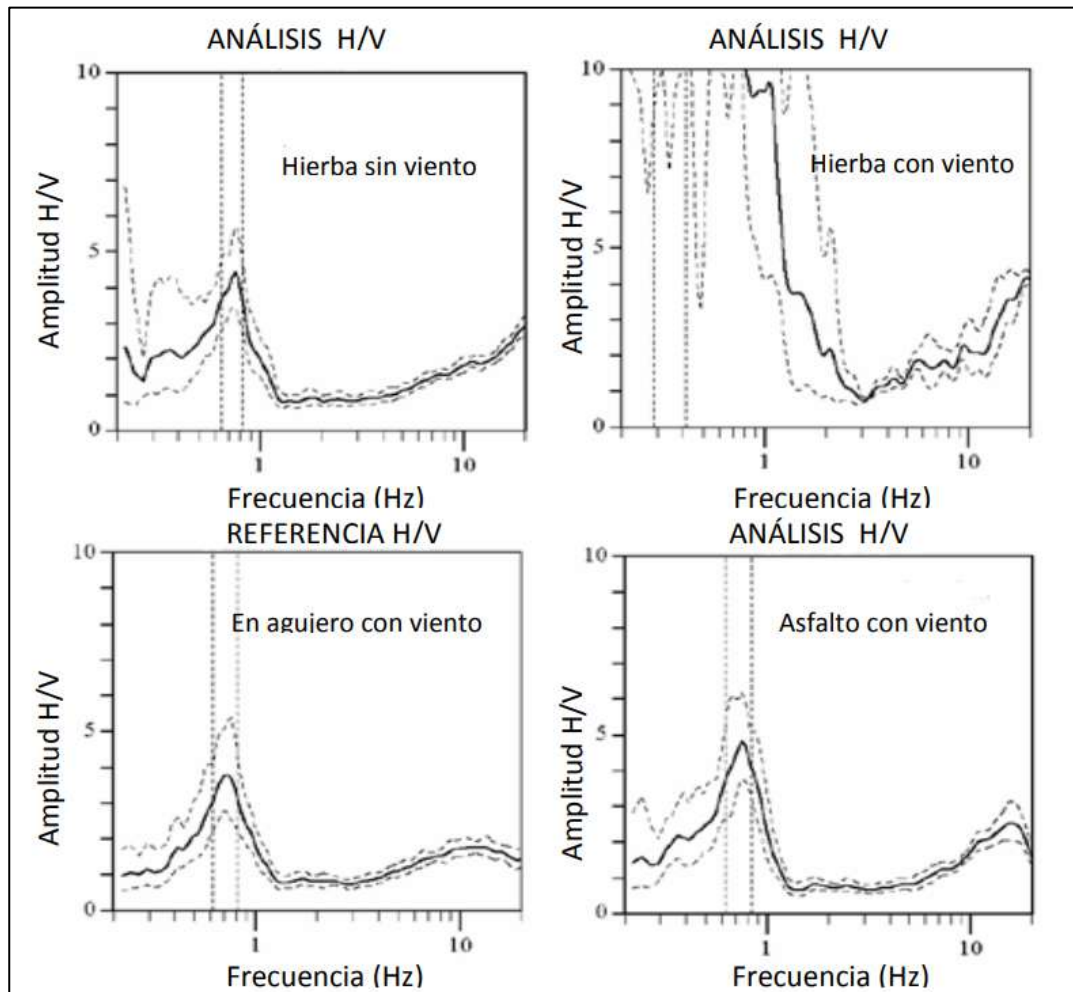


Figura 22: Comparación de las curvas H/V obtenidas en el mismo sitio
(Fuente SESAME, 2004)

D) Suelo artificial

Si en el estudio es necesario utilizar una interfaz artificial entre el suelo y el sensor, se recomienda realizar algunas pruebas antes de efectuar las grabaciones con el fin de conocer una posible influencia de la interfaz elegida.

- El uso de una placa de metal entre el sensor y el suelo no modifica los resultados.
- En el caso de una pendiente pronunciada que no permite una nivelación correcta del sensor, la mejor solución es instalar el sensor sobre un montículo de arena o en un recipiente de plástico lleno de arena.
- Evitar materiales blandos como cartón, hule espuma, grava, etc.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 35 de 68

E) Ajuste del sensor

- No es necesario enterrar el sensor, pero si el sitio lo permite no está de más hacerlo. Además, eliminaría el efecto de un débil viento, sin embargo, sólo sería efectivo si no hubiera estructuras cercanas, como edificios o árboles que pudieran inducir algunas perturbaciones fuertes de baja frecuencia en el suelo, debido al viento.
- No ponga ninguna carga sobre el sensor.

F) Estructuras cercanas

- Hacer grabaciones cerca de edificios, árboles, etc., pueden influir en los resultados por el movimiento de las estructuras debido al viento, que introduce fuentes de perturbación de baja frecuencia en el suelo.
- Evitar medir sobre estructuras subterráneas tales como tuberías, tapas de alcantarillado, etc., estas estructuras pueden alterar significativamente la amplitud del movimiento vertical.

G) Condiciones de clima

- El viento es la influencia más frecuente, se sugiere evitar medir durante los días de viento incluso en vientos ligeros (aprox. > 5 m/s), pues puede influir fuertemente en los resultados, ya que introducen grandes perturbaciones en bajas frecuencias (por debajo de 1 Hz) que no están relacionadas con el efecto de sitio.
- Deben evitarse las mediciones durante la lluvia intensa, mientras que una ligera lluvia no tiene una influencia notable en los resultados de H/V.
- Las temperaturas extremas deben ser tratadas con cuidado, siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- Se recomienda hacer pruebas de comparación de mediciones de noche/día o sol/sombra.
- Los eventos meteorológicos de baja presión generalmente elevan el contenido de baja frecuencia y pueden alterar la curva H/V. Si las mediciones no pueden retrasarse deben anotarse en la bitácora de campo.

H) Perturbaciones

- No se ha comprobado alguna influencia de cables de alta tensión.
- Fuentes locales de corta duración (pasos, automóviles, etc.) pueden influir en los

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

resultados.

- Las perturbaciones de corta duración pueden evitarse durante el análisis del H/V utilizando una ventana anti-trigger para eliminar los transitorios. Consecuencia de esto, se tendrá que aumentar el tiempo de grabación.
- Evitar mediciones cerca de fuentes monocromáticas como máquinas de construcción, máquinas industriales, bombas, etc.
- Mantener el motor del automóvil apagado durante toda la grabación

4.6 Equipos e instrumentos utilizados.

A) Descripción del equipo para ensayos de Refracción, MASW, MASW2D y MAM

En la obtención de los registros se ha empleado un sismógrafo de última generación modelo GEODE, fabricado por la Empresa GEOMETRICS, el cual cuenta con 24 canales de registro de ondas de llegada y de 16 bits de resolución, complementan el sistema, 24 geófonos, un cable sísmico de 120 m y cables de sincronización con la generación de la onda; a esto le agregamos una laptop de campo, 02 baterías y herramientas varias.



Figura 23: Fotografía de las partes de un equipo de refracción sísmica.

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en gabinete, utilizando

para ello programas de cómputo que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas P y S, así como el perfil sísmico del terreno.

B) Descripción del equipo para ensayos de Microtremor

Para este ensayo fue utilizado un equipo de microtremor compuesto por:

- Un sensor de microtremor LENNARTZ de 20 segundos de periodo máximo de medición.
- Un registrador sísmico de 3 canales de adquisición y muestreo variable.
- Una antena GPS marca GARMIN.
- Cables de conexión a la antena GPS y al sensor LENNARTZ.

En el punto de estudio se tomaron mediciones de velocidad en tres direcciones ortogonales de vibración, las cuales coinciden con la dirección vertical (canal 1), direcciones horizontales Norte Sur (Canal 2) y Este Oeste (Canal 3).



Figura 24: Sismógrafo y adquisidor.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 38 de 68

4.7 Procedimiento de los trabajos de campo.

En cada ensayo de refracción sísmica y sondajes MASW, MASW2D y MAM, primero se definen los puntos y el eje de la línea sísmica, luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de exploración requerida y del área libre disponible en la zona de trabajo. Por lo general, la profundidad de investigación está en relación de un 1/3 a 1/5 de la longitud de la línea geofísica en superficie. El equipo utilizado cuenta con 24 geófonos con 5 m de espaciamiento entre ellos, dando una longitud total máxima de 120 m. en casos donde la topografía lo permita y la fuente de impacto sea lo suficientemente fuerte para adquirir una buena señal.

La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas consistió en una comba de 20 lb para los ensayos de refracción Sísmica, MASW y MASW2D, para el caso del ensayo MAM y MICROTREMOR se usó como fuente de energía el ruido ambiental. Mediante el uso de estos implementos se lograron obtener registros de ondas con la adecuada nitidez para las longitudes de líneas ejecutadas.

La medición de microtremor se realizó sobre la superficie del terreno, utilizando un sensor suficientemente sensible. Estas mediciones registraron las velocidades de los microtremores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instaló el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones Vertical, N-S y E-W.

El procedimiento realizado desde la instalación del sismómetro, instalación del registrador, conexiones, hasta el recojo de equipos son descritos a continuación:

Instalación del Sismómetro (Microtremor):

Se verifica la zona en la cual va a estar instalado el sismógrafo, las condiciones iniciales de temperatura, viento, ruidos externos que puedan afectar la adquisición de los datos. El ingeniero especialista verifica la totalidad de cables, accesorios, estado de la batería, antes de la instalación de los equipos, para absolver cualquier inconveniente que pueda resultar.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 39 de 68

Luego de ello, se orienta el sensor de microtremor por medio de una brújula, así van a ir el canal 1 en sentido Vertical, el canal 2 con dirección Norte - Sur y el canal 3 en dirección Este - Oeste. Una vez orientado, se regula el ojo de pollo con los 3 tornillos nivelantes del sismógrafo.

Se conecta el registrador (el cual tiene una batería interna) a la antena GPS y al sismógrafo; al encender el equipo empieza a buscar el GPS y está listo para iniciar la adquisición de los datos del sismógrafo, para ello se usaron los siguientes parámetros:

Cuadro 5: Parámetros de Adquisición para Microtremor.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Tipo de Geófono	Sismómetro triaxial - Banda ancha.
Modo de Grabado	Continuo
Muestreo	200 muestras/s
Tiempo de grabación	ventanas de 30 minutos
Rango máximo del geófono	Periodo max. 20s, 200Hz
Filtros	No se utilizó
Formato de Grabación	ASCII

Medición de Microtremor.

Luego de la conexión e instalación de todo el equipo se procedió a registrar los microtremores por un lapso de tiempo de 30 minutos aproximadamente, para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas de gran magnitud.

Una vez finalizada la correcta medición de las vibraciones ambientales, se realiza la desinstalación del equipo y recojo de todos los materiales y equipos utilizados.

4.8 Personal Geofísico

En el cuadro 6, se describe el personal geofísico involucrado en el desarrollo del estudio:

Cuadro 6: Personal de campo.

Personal	Cargo	Función
Yris Paripanca	Ingeniera Consultora	QC, Procesamiento y Reporte final.
Percy Yauri	Geofísico de Proyectos	Adquisición de datos, Procesamiento
Lenin Antunez	Geofísico de Proyectos	Procesamiento de datos
Elmer Castro	Técnico Geofísico	Apoyo en campo

En campo se contó con 03 personas de apoyo para ejecución de los trabajos de geofísica.

En el presente trabajo, en función de los requerimientos se realizaron los trabajos de geofísicas en la zona de SENCICO Cusco de la siguiente manera:

Para SENCICO Cusco se realizó 01 línea de refracción sísmica de 84 m de longitud, con separaciones de geófonos de 3.5 m. Esta línea permitió explorar una profundidad de hasta los 28 m por debajo de la superficie del terreno. Además, se ejecutaron 02 sondajes MASW y 01 línea de MASW2D de 72 metros de longitud, con la cual se exploró una profundidad de investigación de 30 m. Finalmente se realizaron 02 sondajes MAM y 03 ensayos de MICROTREMOR.

Los trabajos de geofísica de campo se realizaron los días 28 al 30 de noviembre del 2022.

5.0 REGISTRO DE DATOS.

La información de los datos fue obtenida de la ejecución de los ensayos de Refracción sísmica, MASW en 1D/2D, MAM y Microtremores mediante la captación de las ondas compresión, ondas de corte y la vibración ambiental del suelo. Los datos fueron adquiridos con el uso de un sismógrafo multicanal para el caso de la Refracción sísmica, ensayo MASW 1D/2D y MAM; para el caso del microtremor se utilizó un sensor triaxial conectado a un digitalizador de tres canales. Las señales fueron adquiridas considerando los niveles de calidad y cantidad de registros necesarios para el procesamiento y la obtención de buenos resultados.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 41 de 68

6.0. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.

6.1. Estación SENCICO Cusco.

La estación acelerográfica está instalada en las coordenadas **179329.42 m E, 8502849.22 m S**, de acuerdo al relieve topográfico y al estudio de geología regional no se evidencia pendientes abruptas. La zona de estudio se caracteriza por estar emplazada en la Depresión de Cusco – Huacarpay, está cimentada en una superficie plana como se muestra en la Figura 25.

El área circundante a la estación acelerométrica de Cusco, no se aprecian acontecimientos geo estructurales ni actividades que impacten en los registros del equipo acelerométrico, el relieve presenta una pendiente aproximada de 1° . (Figura 25)



Figura 25: Sede SENCICO CUSCO - zona 19S. Tomado y modificado de Google Earth, (2022).

7.0 GEOLOGÍA.

La zona de estudio está enmarcada en el cuadrángulo de Cusco 28-s (Carlotto et al.,2011). Asimismo, según el boletín abarca mapas geológicos a escala 1:50 000 correspondientes a los cuatro cuadrantes del cuadrángulo 1:100 000 de Cusco 28-s, realizados a través de trabajos de

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

campo y gabinete a escala 1:25 000, que en el 2002 sirvieron para la actualización de la carta Geológica Nacional.

En los años 2008 y 2010, los mapas fueron actualizados, estos mismos se toma como base para el presente trabajo.

7.1 Contexto Geomorfológico Regional.

(Carlotto et al.,2011), Según el cuadrángulo de Cusco 28-s mediante la interpretación de imágenes satelitales, trabajos de campo y gabinete, se reconoció cuatro 4 unidades geomorfológicas (Figura 26) o morfoestructuras regionales, estas son: Cordillera Oriental, zona intermedia Altiplano – Cordillera Oriental, Altiplano y borde noreste de la codillera Occidental. Además, se cuenta con unidades locales que están designadas en cada unidad regional.

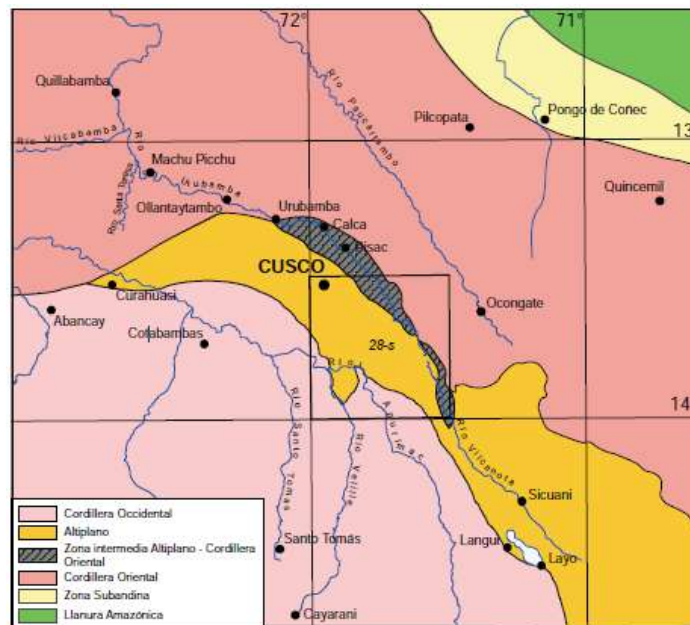


Figura 26: Unidades geomorfológicas regionales,
Tomado del cuadrángulo de Cusco 28-s, (Carlotto et al,2011)

7.1.1 Altiplano

Esta unidad regional se encuentra localizada en gran parte al NO del Altiplano y corresponde a la terminación occidental de esta unidad que viene desde Bolivia. hacia el sur, limita con el borde NE de la cordillera occidental, hacia el norte con la cordillera oriental mediante la zona intermedia altiplano - cordillera oriental, que es caracterizada por el anticlinal del Vilcanota.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 43 de 68

Las rocas que afloran son de edad del mesozoico y estas son de poco espesor en comparación a la cordillera occidental, siendo las capas rojas continentales del terciario, que resaltan por su potencia, tal es el caso del Grupo San Jerónimo(>5000m). Adicionalmente, está disectada por numerosos ríos y la acción glaciaria, que le dan una configuración muy agreste, siendo parte del Altiplano.

También, en el cuadrante (I y IV) del Altiplano de Cusco, se distinguen siete unidades locales de las cuales la **Depresión de Cusco – Huacarpay** se encuentra presente en el área de estudio y esta bordeado principalmente por las siguientes unidades locales: La Meseta de Saqsaywaman, Montañas de Cusco y Las serranías de Vilcaonga. (Figura 27.A)

7.1.1.1 Depresión de Cusco – Huacarpay.

Esta depresión presenta una geometría alargada, con dirección NO-SE de longitud de 30km y altura que va de 3150 a 3400 msnm; está actualmente corresponde al valle del río Huatanay. Asimismo, el material de relleno es **aluvial, lacustre y fluvial** de edad pliocuaternaria que pertenece a una cuenca de origen tectónico controlada por las fallas aun activas de Cusco y Tambomachay. (Figura 27.B)

Esta depresión tiene una terminación brusca que corresponde al volcán monogenético de Rumicolca que represó el río Huatanay y formó un gran lago denominado Morkill en el Pliocuaternario (Gregory,1916).

Además, esta bordeado principalmente de las siguientes unidades locales:

- **Meseta de Saqsaywaman:** se localiza al norte de la depresión de Cusco, tiene un relieve relativamente plano y su altitud varía de 3600 a 3700 msnm. El talud entre la meseta y la depresión es algo suave al oeste y más abrupto al este, que corresponde a depósitos de conos aluviales pliocenos de la formación Chinchero según (Cabrera,1988). Asimismo, afloran calizas en cuerpos discontinuos, lutitas y yeso de la formación maras y Ayabaca, así también de cuerpos intrusivos, siendo el rodadero un sitio arqueológico muy conocido de Saqsaywaman.
- **Las Montañas de Cusco:** ubicada al NE de la meseta de Saqsaywaman que es separada por la falla activa de Tambomachay. Afloran areniscas de la formación Kayra que constituyen relieves prominentes como el cerro Picol con una altitud de 4000 msnm.

- **Las serranías de Vilcaconga:** ubicada al sur de la Depresión de Cusco y conformadas por cumbres alineadas en dirección NO-SE que se prolongan hasta Acomayo y afloran las capas rojas del grupo San Jerónimo y formación Punacancha. Los relieves son relativamente accidentados cuando están cortados por el río Huatanay o Vilcanota.

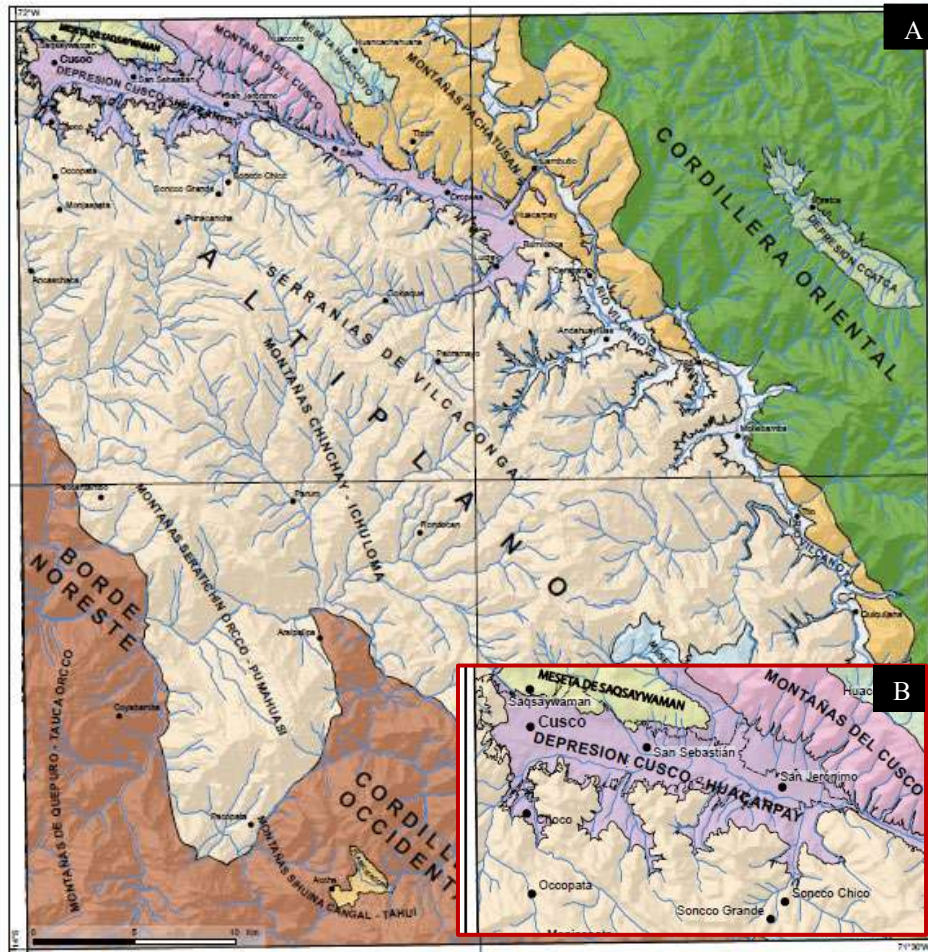


Figura 27: A; Unidades geomorfológicas locales del cuadrángulo Cusco 28s. B; Zona de estudio Depresión Cusco – Huacarpay (Carlotto et al., 2011).

7.2 Contexto Estratigráfico Regional Cusco

Litoestratigráficamente, el basamento corresponde principalmente a rocas del Paleozoico que afloran en la Cordillera Oriental y las rocas permo – triásicas - jurásicas que emergen en el límite de la cordillera oriental con el Altiplano.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 45 de 68

En el Mesozoico superior y el cenozoico, se ha diferenciado dos dominios paleogeográficos: Altiplano y borde NE de la cordillera Occidental, por lo que las unidades litoestratigráficas de estos periodos serán descritas para cada dominio. (Figura 28)

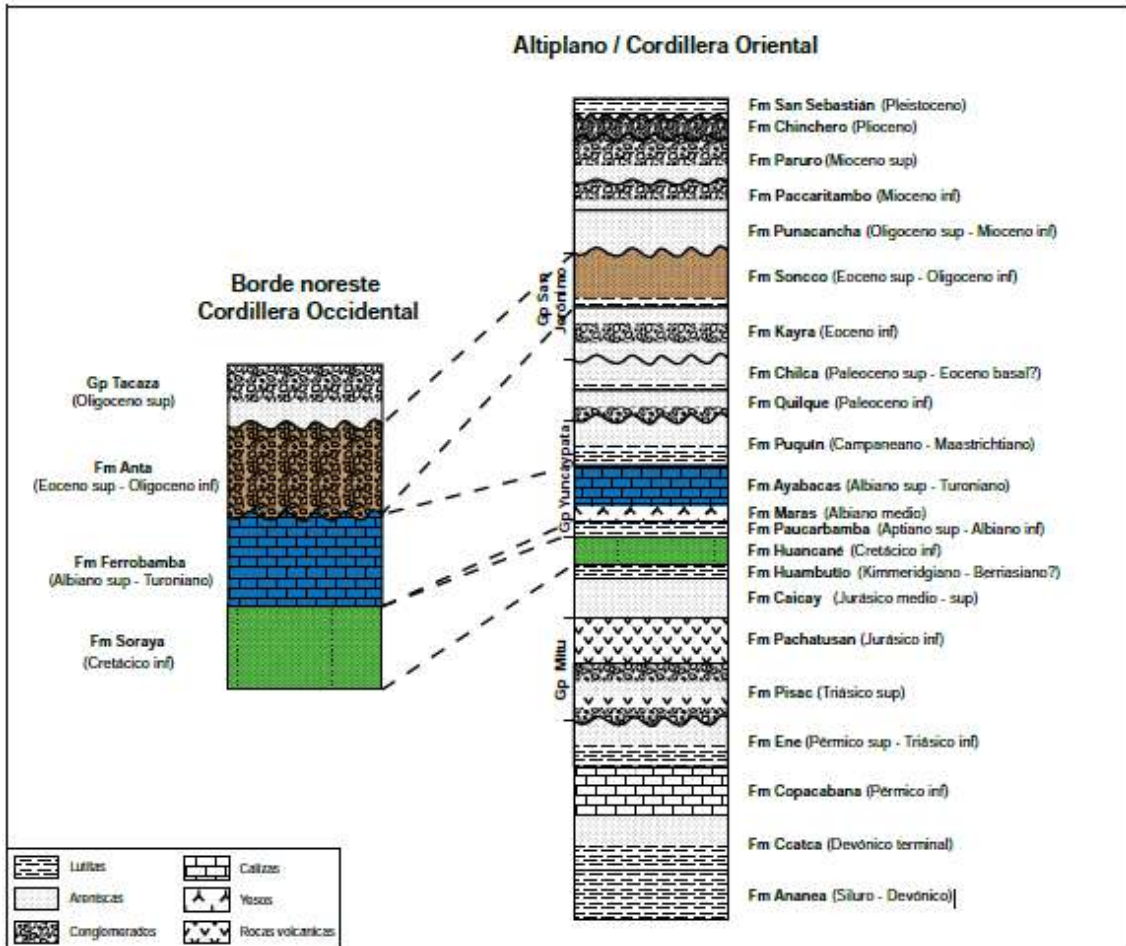


Figura 28: Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales. (Carlotto et al., 2011).

Regionalmente, está constituido por las unidades litoestratigráficas del Grupo Yuncaypata: (Formación Maras, formación Ayabaca, formación Puquín), Grupo San Jerónimo (Formación Kayra), formación Chinchero y formación San Sebastián. En esta última, se halla el área de estudio (Figura 29), además existe la presencia de depósitos Fluviales y cuerpos intrusivos dioríticos.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 46 de 68



Figura 29: Mapa geológico regional de la zona de estudio (SENCICO Cusco - Wanchaq). Tomado y modificado de GEOCATMIN (2022).

7.3 Geología Local

La estación acelerográfica de Cusco, se encuentra sobre los sedimentos de la Formación San Sebastián (Q-sa), descrita a continuación.

7.3.1 Formación San Sebastian (Q-sa): Pleistoceno

Denominada por Gregory (1916), afirma que la Depresión de Cusco, sobreyace al basamento Cretácico y Terciario. Asimismo, incluye los **conglomerados de conos aluviales** (50 a 70 m) del Plioceno de la formación Chincheros de las cuencas de Cusco. (Figura 29),.

7.3.1.1 Litología y ambiente de sedimentación

Según (Cabrera,1988), está conformada por dos secuencias:

- **Primera secuencia:** Grano decreciente, que está constituido por secuencias de **areniscas fluviales de canales entrelazados deltaico y lutitas lacustres o palustres** (Figura 30). Niveles diatómicos y calcáreos caracterizan la parte superior (Figura 31).
- **Segunda secuencia:** Grano creciente, compuesta por **conglomerados y areniscas de conos- terrazas fluvio-torrenciales**, que indican el cierre de la cuenca. Además, el cierre de esta secuencia, presenta estructuras compresivas sinsedimentarias (Cabrera,1988).

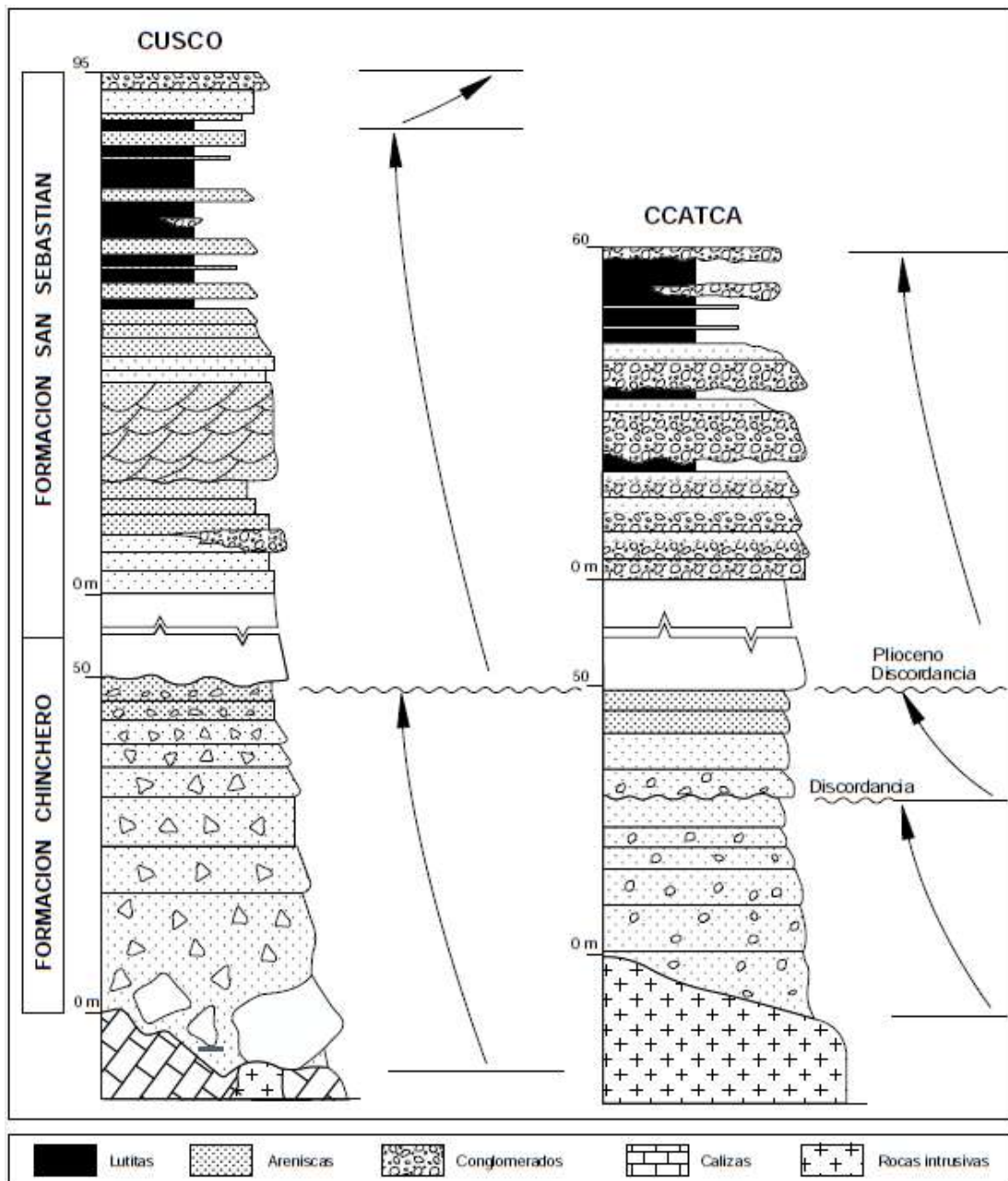


Figura 30: Columna estratigráfica de las formaciones y San Sebastián. Tomado y modificado de (Cabrera,1988, Carlotto et al.,2011)

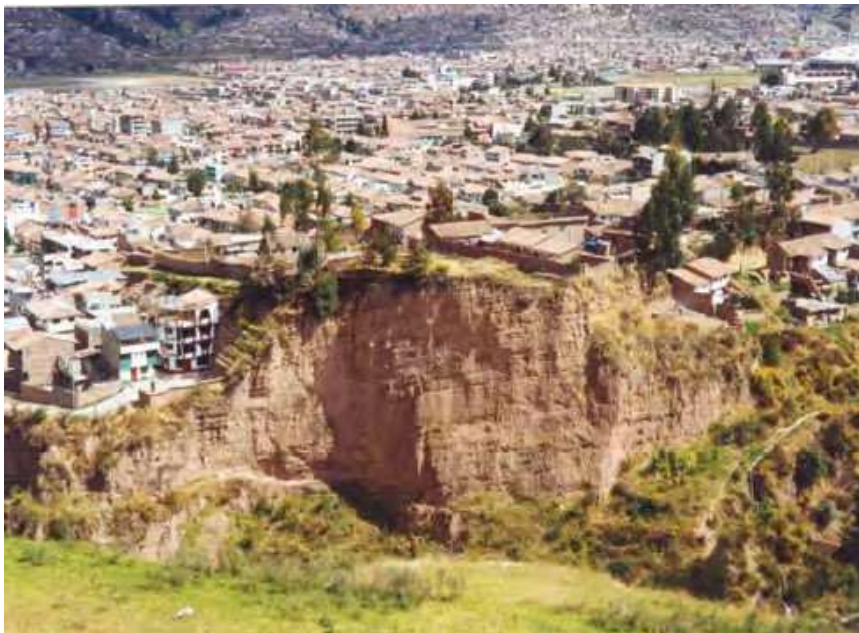


Figura 31. Formación San Sebastián con predominio de sedimentos finos en la parte norte del valle de Cusco. (Carlotto et al., 2011)

Por otro lado, la formación San Sebastián en 2015, fue caracterizada localmente a través del estudio titulado “ESTUDIO GEOTÉCNICO CON FINES DE CIMENTACIÓN: NUEVO LOCAL INSTITUCIONAL SUB CAFAE- SE-CUSCO”, ubicada en Av. Infancia- Wanchaq. por la empresa INGEOTECNIA. El área fue determinada como suelos residuales de intemperismo transportados en forma lenta por diferentes agentes, constituido por depósitos finos con tamaños menores a 2 cm y representan un 97% de finos con matriz de arcilla, limo arenoso poco permeable. Los depósitos son de origen lacustre y se presentan casi siempre caóticamente estratificados con texturas cohesivas.

Además, a través de elaboración de calicatas, encontraron 3 capas:

- **Primera capa:** Profundidad 80 cm, material suelto de arenas y gravas en matriz arcillosa limosa de color marrón claro y consistencia suelta.
- **Segunda capa:** Profundidad 3.70 cm, material suelo fino poco cohesivo. Por ende, se clasifico como **arcilla de media plasticidad arenosa CI, de color marrón claro y consistencia media.**
- **Tercera capa:** Suelo granular de consistencia dura cuya denominación SUCS es **arena arcillosa limosa con grava SC-SM.**

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 49 de 68

Estratigráficamente, la zona de estudio fue determinada como material homogéneo, siendo el primer estrado constituido por depósitos lacustres finos y el segundo por material cohesivo. En síntesis, el suelo de fundación en toda la zona del proyecto corresponde al tercer estrato y ha sido identificado como una ARENA ARCILLOSA LIMOSA CON GRAVA SC -SM. (INGEOTECNIA, 2015).

7.4 Mapa de peligros

En el proyecto "Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco" elaborado por PNUD-INDECI, & (R. Benavente, C. Fernández Baca, A. Gómez, 2004). Realizaron mapas de peligros de la ciudad de Cusco (Figura 33)., aplicando metodologías y criterios técnicos rígidos de suma de peligros en áreas de intersección complementados con la decisión final designan el peligro sísmico con el uso del criterio técnico y la experiencia profesional, detallaron de la siguiente manera:

1. El mapa de peligro; Climático, Geodinámica, Geológico, Geotécnico y Sísmico de la ciudad del Cusco, cada uno de ellos dio como resultado contornos que rodean áreas de mayor peligro en cada caso.
2. Seguidamente los contornos se han superpuesto en un solo mapa que denominaron Mapa de contornos de Peligros Específicos, considerando cada peligro temático con un valor de 1 (uno). Las zonas donde se intersecan varios peligros se suman estos valores y es así que quedan definidas áreas de intersección con valores que pueden ir de 1 a 5.
3. De lo anterior, se ha definido las áreas de peligro de la siguiente manera: Peligro Bajo 01 Peligro Medio 02 Peligro Alto 03 Peligro Muy Alto 04 y 05.
4. En base a la observación y criterio técnico, se determinó las áreas de peligro, donde zonas con un solo peligro temático pueden ser definidas como de peligro Alto o Muy alto si es que dicho peligro es grave y evidente.

Asimismo, en el mapa de peligros final, se ha considerado los grados de peligro consignados en el Libro "Reducción de Desastres" capítulo ciudades Sostenibles tabla 2.1 del Dr Julio Kuroiwa, consideraron 4 niveles de peligro con colores distintos (Benavente et al.,2004). (Figura 32).

De acuerdo a estos resultados, el área circundante a la estación acelerográfica Sencico Cusco, presenta Nivel de peligro bajo.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 50 de 68

5.3.- SECTORES SEGUN EL GRADO DE PELIGRO

Grado de Peligro	características	Ejemplos	Restricciones y recomendaciones de uso
PELIGRO MUY ALTO	<p>a) Las fuerzas naturales o sus efectos son tan grandes que las construcciones efectuadas por el hombre no las pueden resistir.</p> <p>b) De ocurrir el fenómeno las pérdidas llegan al 100%</p> <p>c) El costo de reducir los daños es tan alto que la relación costo – beneficio hace impracticable su uso para fines urbanos</p>	<p>a) Sectores amenazados por alud, avalanchas y flujos repentinos de piedras y lodo (Huayco)</p> <p>- Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebradas que nacen de la cumbre de volcanes activos y zonas de deposición afectables por flujos de lodo.</p> <p>b) Sectores amenazados por deslizamientos. Zonas amenazadas por inundaciones con gran fuerza hidrodinámica, velocidad y poder erosivo.</p> <p>c) Sectores contiguos a los vértices de bahías en forma de V o U amenazados por Tsunamis.</p> <p>- Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones</p>	<p>Prohibido su uso con fines urbanos.</p> <p>Se recomienda utilizarlos como reservas ecológicas , recreación abierta , o para el cultivo de plantas de ciclo corto</p>
PELIGRO ALTO	<p>a) La amenaza natural es alta pero se pueden tomar medidas efectivas de reducción de daños a costos aceptables , utilizando técnicas y materiales adecuados</p>	<p>a) Franjas contiguas a los sectores altamente peligrosos, la amenaza se reduce notoriamente, pero el peligro todavía es alto.</p> <p>b) Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas</p> <p>c) Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días</p> <p>- Ocurrencia parcial de licuación y suelos expansivos</p>	<p>Se permite su uso urbano después de estudios detallados por especialistas con experiencia, para calificar el grado de peligro y fijar los límites con el sector anterior. Recomendable para usos urbanos de baja densidad</p>
PELIGRO MEDIO	<p>d) Amenaza natural moderada</p>	<p>a) Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas.</p> <p>- Inundaciones muy esporádicas con bajo tirante y velocidad</p>	<p>Adecuado para usos urbanos .Investigaciones geotécnicas normales</p>
PELIGRO BAJO	<p>a) Suelos donde se producirá baja amplificación de ondas sísmicas.</p> <p>b) Donde es muy remota la probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales intensos o falla gradual del suelo</p>	<p>a) Terrenos planos o con poca pendiente, roca o suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.</p> <p>b) Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por actividad volcánica o Tsunamis</p>	<p>Ideal para usos urbanos y la ubicación de edificios indispensables como hospitales , centros educativos , cuarteles de policía , bomberos etc.</p>

Figura 32: Sectores según el grado de peligro. Tomado de Libro “Reducción de Desastres” capítulo ciudades Sostenibles (Julio Kuroiwa y Benavente et al., 2004)

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 51 de 68

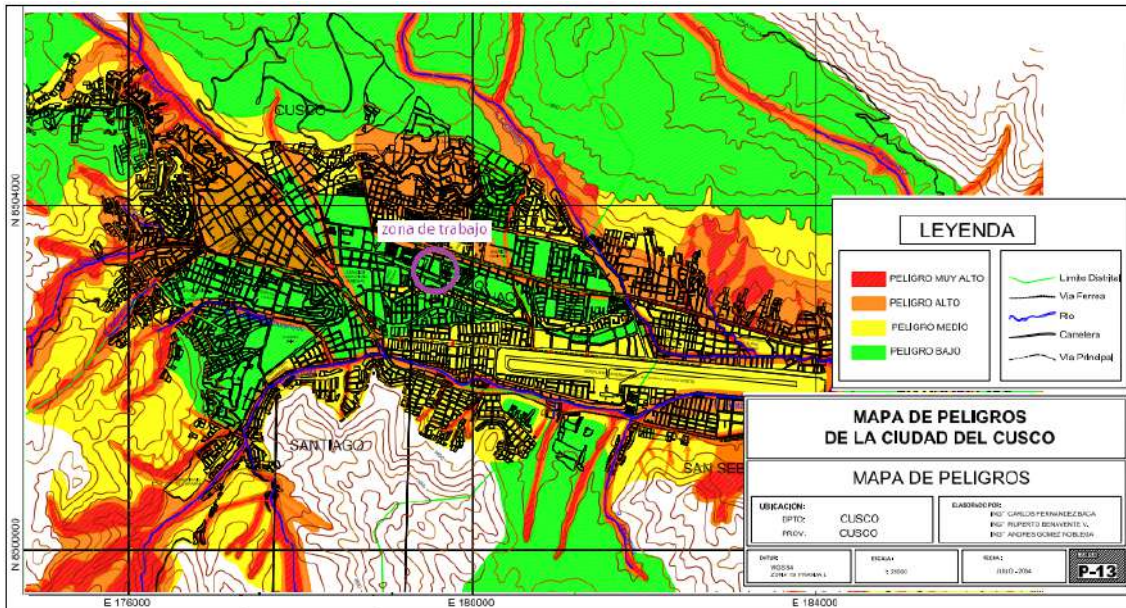


Figura 33. Mapa de peligros de la ciudad del Cusco. Modificado de Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco INDECI (Benavente, Baca & Gomes, 2004)

7.5 Neotectónica

En el boletín N°55 serie C de Geodinámica- “Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región de Cusco-2013”, son estudios detallados de las deformaciones recientes de la corteza terrestre para comprender la evolución geodinámica de cadenas montañosas y determinar áreas de amenaza sísmica a partir de la evaluación del potencial sismogénico de una falla. (Benavente et al., 2013). Por otro lado, el IGP, a través de la "Evaluación de los peligros asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú" muestra que la Ciudad de Cusco, se encuentra ubicada en la zona andina que presenta sismos de gran magnitud, debido a la presencia de importantes sistemas de fallas inversas y normales, a menudo con deslizamientos importantes y procesos de licuación. (Tavera. H., 2014)

Por lo tanto, demuestran estructuras Plio-cuaternarias y definen los sistemas de fallas, que permitió generar mapas de amenaza sísmica para movimientos de masa, procesos de licuefacción de suelos y asentamientos. Del mismo modo, calcularon a partir de las interacciones entre los mapas de susceptibilidad y mapas de Iso-aceleraciones sísmicas, para posteriormente elaborar los mapas de peligrosidad de movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos detonados por sismos (Figura 34). Por ende, considerando estas fallas, se observa que afectan de manera distinta a la ciudad del Cusco, siendo la falla de Tambomachay

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 52 de 68

la más peligrosa por su cercanía, mientras que las fallas Qoricocha y Pachatusan también afectan, pero en menor medida

En síntesis, el área de estudio delimita la zona de mayor aceleración sísmica debido a su morfología, ya que se ubica en un área cercana a la falla Tambomachay y de acuerdo a la litología representa un factor amplificador del movimiento del suelo.

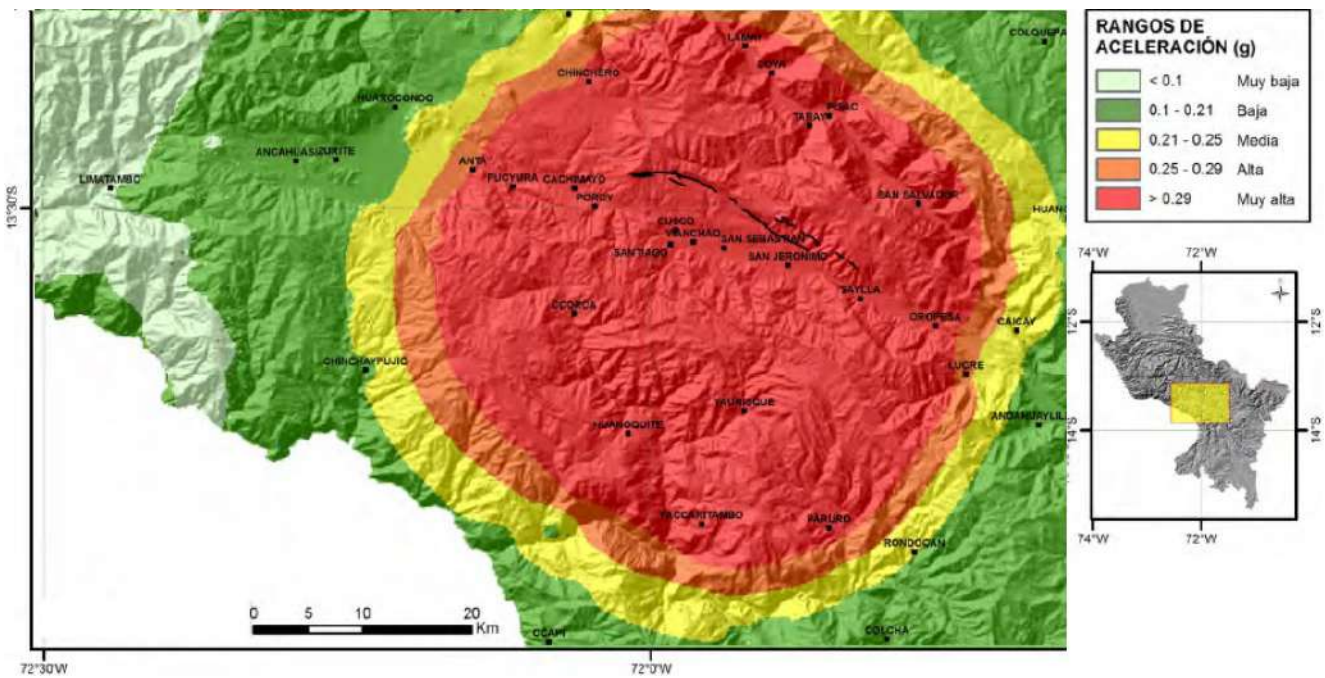


Figura 34: Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Tambomachay (escenario 1). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Tomado y modificado de (Benavente et al.,2013)

8.0 INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las tablas 06, 07, 08 y 09 indican la relación de ensayos de Refracción Sísmica, sondajes MASW, MASW 2D y MAM respectivamente, así como, la longitud de cada línea ejecutada en función a los requerimientos de la investigación y la ubicación de sus coordenadas geográficas. Se ejecutaron también 03 ensayos de microtremor, cuya ubicación se indica en la tabla 05. En el Anexo 1.1 se muestran los registros de ondas sísmicas de los ensayos de refracción. En el Anexo 2.1 se muestran los registros de ondas sísmicas de los ensayos MASW. El Anexo 3.1 se muestran los registros de ondas sísmicas de los ensayos MASW-2D. En el Anexo 4.1 se muestran los registros de ondas sísmicas de los ensayos MAM. En el Anexo 5.1 se muestran los registros de los ensayos de MICROTREMOR. Además, en los Anexos 6.1 al 6.5 se muestran los paneles fotográficos de los ensayos realizados.

8.1 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Refracción Sísmica

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración realizadas, se determinan las curvas tiempo - distancia o dromocrónicas, como se muestra en el Anexo 1.2, las cuales representan las primeras llegadas de las ondas directas o refractadas a cada uno de los geófonos ubicados a distancias determinadas. Con esta información se realizó la interpretación de los perfiles sísmicos de las áreas investigadas.

Perfil Sísmico LS-01 (A-B)

Este perfil está conformado por la línea sísmica LS-01 de 72 m de longitud, muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 200 m/s a 300 m/s, con un espesor variable de 0.4 m. a 1.2 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular suelto.

El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 300 m/s a 700 m/s, con un espesor variable de 2.6 m. a 3.2 m. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un material granular medianamente denso.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 54 de 68

El tercer estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 700 m/s a 1200 m/s, con un espesor variable de 20.8 m. a 23.7 m. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un material granular denso.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-01 del Anexo 1.3.

8.2 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MASW

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MASW se presentan en los Anexos 2.1, las curvas de dispersión se presentan en los Anexo 2.2.

Esta información se utilizó para la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte de los ensayos MASW, que se presentan en los Anexos 2.2, cuya descripción se presenta a continuación.

Sondaje MASW-01

Este sondaje corresponde al ensayo MASW-01 de 70.0 metros de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m. en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 222 m/s y 277 m/s, alcanzando una profundidad de 2.4 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular medianamente denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 310 m/s y 378 m/s, alcanzando una profundidad de 30.0 m y tiene un espesor de 27.6 m. Estratigráficamente podría estar conformado por un material granular denso.

Este sondaje se muestra en la Figura 01 del Anexo 2.2.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 55 de 68

Sondaje MASW-02

Este sondaje corresponde al ensayo MASW-02 de 70.0 metros de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m. en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 239 m/s y 286 m/s, alcanzando una profundidad de 2.4 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular medianamente denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 336 m/s y 383 m/s, alcanzando una profundidad de 30.0 m con un espesor de 27.6 m. Estratigráficamente podría estar conformado por un material granular denso.

Este sondaje se muestra en la Figura 02 del Anexo 2.2.

8.3 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MASW 2D

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MASW 2D se presentan en el Anexo 3.1 y las curvas de dispersión se presentan en el Anexo 3.2. Esta información se utilizó para la interpretación de los modelos bidimensionales de velocidades de ondas de corte de los ensayos MASW 2D, que se presenta en el Anexos 3.3.

Línea MASW 2D-01 (C – D)

Este perfil corresponde a la línea MASW 2D-01 de 72 metros de longitud. La interpretación de este ensayo genera un perfil de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad máxima de 32 m. En esta línea se pueden observar la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 240 m/s y 300 m/s, con espesores que van de 1.8 m a 3.6 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular medianamente denso.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 56 de 68

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) entre 300 m/s y 580 m/s, con espesores de 27.0 m a 30.7 m. Estratigráficamente podría estar conformado por un material granular denso.

El perfil bidimensional de esta línea se presenta en la Lámina L-02 del Anexo 3.3

8.4 Procesamiento e Interpretación de Resultados - Sondajes MAM

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MAM se presentan en los Anexos 4.1, las curvas de dispersión se presentan en los Anexo 4.2.

Esta información en combinación con el MASW correspondiente se utilizó para la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte de los ensayos MAM, que se presentan en los Anexos 4.2, cuya descripción se presenta a continuación.

Sondaje MAM-01 / MASW-01

Este sondaje corresponde al ensayo MAM-01 de 115.0 metros de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 80.0 m. en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas de corte (Vs) entre 244 m/s y 297 m/s, alcanzando una profundidad de 3.2 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular medianamente denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas de corte (Vs) entre 329 m/s y 471 m/s, alcanzando una profundidad de 80.0 m con un espesor de 76.8 m. Estratigráficamente podría estar conformado por un material granular denso

Este sondaje se muestra en la Figura 01 del Anexo 4.2.

Sondaje MAM-02 / MASW-02

Este sondaje corresponde al ensayo MAM-02 de 110 m. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 70 m en el punto central de la línea, muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 57 de 68

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas de corte (V_s) entre 243 m/s y 298 m/s, alcanzando una profundidad de 3.0 m. Estratigráficamente está conformado por un material granular medianamente denso.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas de corte (V_s) entre 328 m/s y 452 m/s, alcanzando una profundidad de 80.0 m con un espesor de 77.0 m. Estratigráficamente podría estar conformado por un material granular denso.

Este sondaje se muestra en la Figura 02 del Anexo 4.2.

8.5 Procesamiento de Ensayos de Microtremor

Se resume el procesamiento del método Nakamura (H/V) en de la siguiente manera:

- Se cargan las 03 señales de vibraciones ambientales, las componentes Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste, se obtiene los espectros de Fourier de cada una de las señales.
- Se puede observar que los espectros de Fourier de las señales horizontales son muy parecidos entre sí y semejante también a la señal del espectro de Fourier de la componente vertical.
- Se promedian los espectros de Fourier de las señales horizontales, este promedio horizontal es dividido con el espectro de Fourier de la señal vertical y se obtiene un valor del periodo fundamental del punto de estudio, tal como se observa en el esquema siguiente.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 58 de 68

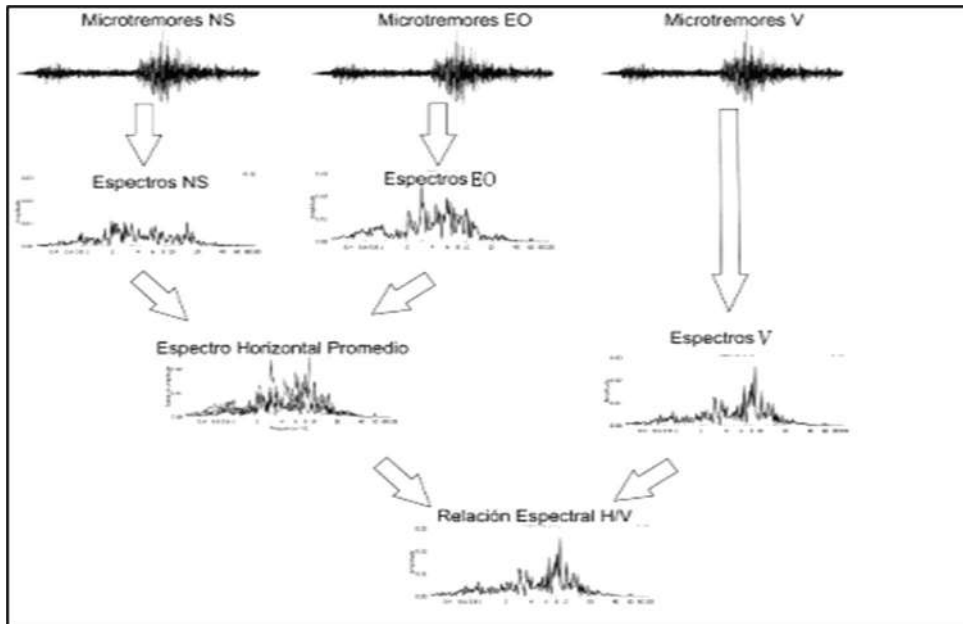


Figura 35: Secuencia para el procesamiento de señales con técnica de cocientes espectrales H/V (Jaramillo 2012)

En el presente caso se ha utilizado el promedio de los espectros de Fourier horizontales para obtener los periodos fundamentales de los tres puntos de estudio.

En cada punto de medición se registró al menos 30 minutos de medición de tal manera que podamos tener el tiempo suficiente para poder registrar señales sin mucha saturación de ruidos ambientales que puedan malograr las mediciones. Se usó un muestreo de 200 datos por segundo, formato de grabación ASCII, no se utilizaron filtros de medición en su adquisición, con ello se logró obtener el siguiente cuadro de resultados:

Cuadro 7: Resultados de ensayo de microtremor.

Zona de estudio	Ensayo	Punto	Frecuencia (Hz)	Periodo fundamental (Seg.)
SENCICO CUSCO	MIC-01	Esp. Fourier 01	2.43254	0.41109
	MIC-02	Esp. Fourier 02	2.37321	0.42137
	MIC-03	Esp. Fourier 03	2.25885	0.44270

En relación a los resultados, se puede observar en la Sede de Cusco que el periodo fundamental tiene valores de 0.41109 seg a 0.44270 seg.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 59 de 68

9.0 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO

9.1 Clasificación del tipo de suelo según Building Code (IBC, 2018)

Con los sondajes MASW, ejecutados para la zona de estudio, se ha calculado la velocidad promedio de ondas de corte Vs30 de acuerdo al International Building Code (IBC, 2018), con el propósito de caracterizar sísmicamente el tipo de suelo en función de los perfiles unidimensionales de ondas de corte y sus correspondientes velocidades promedio hasta los 30 m de profundidad (Vs30). De acuerdo a esta normativa, se clasifica los suelos en 6 clases, tal como se presenta en Cuadro 8, esta clasificación ha sido definida en función a la velocidad de ondas de corte promedio de un estrato de 30 m de profundidad que se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$\bar{v}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n v_{si}}$$

d_i : Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m

v_{si} : Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Cuadro 8: Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2018)

TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS, VER SECCIÓN 1613.5.5		
		Velocidad de onda de corte, \bar{v}_s (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, \bar{q}	Resistencia a la corte no drenada, \bar{s}_u (psf)
A	Roca muy dura	$\bar{v}_s > 1,500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < \bar{v}_s \leq 1,500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < \bar{v}_s \leq 760$	$\bar{q} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Suelo rígido	$180 \leq \bar{v}_s \leq 360$	$15 \leq \bar{q} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Suelo blando	$\bar{v}_s < 180$	$\bar{q} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 60 de 68

E	-	<p>Cualquier perfil de suelo con más de 3 m de espesor que tenga las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> Índice de plasticidad (IP) > 20 Contenido de humedad (w) ≥ 40% y Resistencia al corte no drenado $\bar{s}_u < 500$ psf
F	-	<p>Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H > 3 m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H = espesor del suelo) Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.6 m con índice de plasticidad IP > 75) Arcillas gruesas suaves a medias (H > 36 m)

Nota: 1 libra por pie cuadrado (psf) = 0.0479 kPa. N/A = No aplicable

Los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo en el área de estudio de los sondajes MASW, corresponde a suelo Tipo D, cuyas velocidades de ondas de corte Vs30 varía de 342 m/s a 356 m/s. Estos valores se aprecian en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad ($\bar{v}_s 30$)

Sondaje	VS30	Tipo de suelo	Nombre del Tipo de suelo
			(IBC, 2018)
MASW-01	342	D	Suelo rígido
MASW-02	356	D	Suelo rígido

9.2 Clasificación del tipo de suelo según Norma Técnica E 030 2019

En el caso del diseño sísmico estructural, de acuerdo a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2019), se considera que los suelos de la zona de estudio clasifican como suelos de tipo S_2 .

Para el caso del suelo tipo S_2 le corresponde un periodo predominante TP(s)=0.6s. y un TL(s)=2.0s. Como el proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Wanchaq, provincia de Cusco, departamento de Cusco, que pertenece a la Zona Sísmica 2, le corresponde un factor de Zona Z=0.25 y un factor de suelo S=1.20.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página **61** de **68**

En el cuadro 10 se puede observar la clasificación de tipos de suelos de acuerdo a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2019).

Cuadro 10: Clasificación del Sitio (Fuente Norma E.030, 2019)

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

En el caso de considerar la influencia de la componente vertical del movimiento sísmico, de acuerdo a la norma de Diseño Sismorresistente E-030 (SENCICO 2019), ésta deberá ser estimada entre 1/2 y 2/3 del valor de la aceleración horizontal máxima de diseño (PGA).

De acuerdo a la Norma E-030, los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo en el área de estudio de los sondajes MASW, corresponde a Tipo S₂ (Suelos intermedios, que corresponden los suelos medianamente rígidos) cuya velocidad de ondas de corte Vs30 varía de 342 m/s a 356 m/s. Estos valores se aprecian en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad (Vs₃₀)

Sondaje	V _{S30}	Tipo de suelo (E.030, 2019)	Nombre del Tipo de suelo
			(E.030, 2019)
MASW-01	342	S ₂	Suelos intermedios
MASW-02	356	S ₂	Suelos intermedios

10.0 PARÁMETROS ELÁSTICOS

En la teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996), la velocidad de las ondas P y S se representan en forma de ecuación de movimiento, para un cuerpo elástico isotrópico de la siguiente manera:

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 62 de 68

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \quad , \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Dónde:

Vp: Velocidad de ondas de compresión

Vs: Velocidad de ondas de corte

λ : Constante de Lamé

μ : Rigidez

ρ : Densidad

Relacionando las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas se pueden obtener los siguientes parámetros dinámicos:

$$v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$$

Relación de Poisson (ν)

Módulo de Young (Ed)
$$E_d = 2(1 + \nu)G$$

Módulo de Corte (Gmax)
$$G_{\max} = \rho V_s^2$$

El Módulo de corte del suelo, G, es variable y decrece en función, principalmente, del incremento de las deformaciones de corte en el suelo. El módulo de corte máximo (Gmax) asociado a pequeñas deformaciones, puede ser determinado mediante la velocidad de propagación de las Ondas de Corte (Vs), las cuales pueden ser obtenidas in situ mediante ensayos geofísicos. Se ha demostrado que valores de Gmax (o valores de Emax) factorados pueden ser de utilidad para evaluar los asentamientos de las cimentaciones. Como el diseño de las cimentaciones está asociado a cargas últimas que puede soportar el suelo en la falla, donde el rango de deformaciones cortantes son muchos mayores, para estimar el asentamiento de una cimentación partiendo de parámetros elásticos máximos (Gmax o valores de Emax), estos deben ser reducidos.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 63 de 68

Resultados de ensayos de laboratorio ejecutados para obtener el módulo de corte de suelos gravosos, para una deformación angular $\gamma = 0.1\%$, el módulo de corte está entre 10% a 20% del valor del módulo de corte máximo, es decir $G = 0.1-0.2 G_{max}$.

En este caso de estudio, los ensayos geofísicos proporcionaron la velocidad de ondas de P (V_p) y de corte (V_s) del perfil stratigráfico. Asimismo, para estimar la densidad de los materiales se asumieron valores característicos, los valores de la densidad tomados para la realización de los parámetros elásticos fueron considerados en base a la información geológica de la zona de estudio, lo cual posibilitó, mediante el empleo de las formulaciones antes indicadas, obtener los parámetros elásticos de los materiales que conforman la zona de estudio, los resultados obtenidos se muestran en el **Anexo 2.3**.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 64 de 68

11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como parte del Servicio de Caracterización Geofísica del terreno aldaño a la estación acelerográfica de Sencico sede Cusco, se han realizado ensayos de medición puntual de vibración ambiental (microtremores), ensayos MASW/MASW2D, ensayos MAM y líneas de Refracción Sísmica. También se ha realizado la recopilación de la información topográfica de las zonas aldañas a la sede de Sencico del Cusco, así como la geología regional y local de la sede de Sencico.
- Estos ensayos permitieron determinar los perfiles sísmicos del material existente en la zona de estudio y los periodos de vibración de las zonas de estudio. Los ensayos consistieron en la medición de la velocidad de propagación de las ondas P por medio de ensayos de refracción sísmica para determinar el perfil sísmico estratigráfico del terreno y ensayos de ondas de corte (MASW, MAM y MASW2D) para determinar las velocidades de propagación de las ondas S en sus formatos unidimensionales y bidimensional. Los ensayos de vibración ambiental nos permitieron obtener los periodos de vibración fundamentales de la zona de estudio.
- Estas caracterizaciones geofísicas son muy importantes porque van a permitir conocer las características geofísicas sísmicas de los suelos de las sedes de Sencico de Cusco, las mismas que influyen en los registros acelerográficos que se captan de dicha estación.
- En la sede de Sencico de Cusco se han realizado los siguientes ensayos:
 - 01 línea de refracción de 84 metros
 - 02 ensayos MASW de 70 m
 - 01 línea de MASW-2D de 72 m
 - 02 ensayos MAM de 110 m
 - 03 ensayos de Microtremor
- Las longitudes de las líneas sísmicas fueron establecidas en función del objetivo de estudio, que fue determinar la estratigrafía del terreno. Por este motivo se ejecutó 1 línea de refracción sísmica de 84 m de longitud con separaciones de geófonos de 3.5 m. Esta línea permitió explorar una profundidad de investigación de 28 m por debajo de la superficie del terreno. Además, se ejecutaron 02 sondajes MASW y 01 líneas MASW2D, con las cuales se

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 65 de 68

exploró una profundidad de investigación de 30 m. Finalmente se realizaron 02 sondajes MAM, con el cual se exploró profundidades de investigación de hasta 80 m. Finalmente se realizó 03 ensayos de Microtremor para determinar el periodo de vibración del suelo.

- Para realizar la descripción del comportamiento del suelo en las líneas realizadas en la sede de Sencico de Cusco, podemos una interpretación de la siguiente manera:

Cuadro 12: Consolidado de ondas P y S de zona de estudio

Líneas de refracción	Velocidades de propagación de ondas P (Vp)	Líneas MASW/MAM	Velocidad de propagación de ondas S (Vs)	Descripción
LS-01	De 200 m/s a 300 m/s para el primer estrato, de 300 m/s a 700 m/s para el segundo estrato, de 700 m/s a 1200 m/s para el tercer estrato.	MASW-01 MAM-01 MASW-02 MAM-02	De 222 m/s a 286 m/s para el primer estrato, de 310 m/s a 383 m/s para el segundo estrato.	Como resultado del análisis de las líneas de refracción sísmica, ensayos MASW y MAM se muestra la presencia de tres estratos sísmicos: El primer estrato superficial conformado por un material granular suelto. El segundo estrato podría estar conformado por un material granular medianamente denso. El tercer estrato podría estar conformado por un material granular denso

- Como un comentario adicional de los resultados de los ensayos geofísicos de refracción sísmica, MASW, MAM, MASW-2D, aparentemente los valores de los resultados de los ensayos de Cusco son característicos a suelos aluviales y eluviales en los primeros metros que corresponde a los depósitos cuaternarios.
- En relación a los resultados de los ensayos de microtremor realizados en la Sede de Cusco, Cuadro 7, el periodo fundamental tiene valores de 0.41109 seg a 0.44270 seg. Se ha obtenido el periodo fundamental mediante el promedio del espectro de Fourier de las señales horizontales de los ensayos de microtremor.

Cuadro 7: Valores pico de mediciones de microtremor.

Zona de estudio	Ensayo	Punto	Frecuencia (Hz)	Periodo fundamental (Seg.)
SENCICO CUSCO	MIC-01	Esp. Fourier 01	2.43254	0.41109
	MIC-02	Esp. Fourier 02	2.37321	0.42137
	MIC-03	Esp. Fourier 03	2.25885	0.44270

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 66 de 68

- Los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo de los sondajes MASW de la sede Sencico Cusco, corresponde a suelos Tipo D (suelo rígido) según el código IBC 2018, cuyas velocidades de ondas de corte Vs30 varía de 342 m/s a 356 m/s. Estos valores se aprecian en el Cuadro 9 del presente informe.
- Para el caso del suelo tipo S₂ le corresponde un periodo predominante TP(s)=0.6s. y un TL(s)=2.0s. Como el proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Wanchaq, provincia de Cusco, departamento de Cusco, que pertenece a la Zona Sísmica 2, le corresponde un factor de Zona Z=0.25 y un factor de suelo S=1.20.
- De acuerdo a la Norma E-030, los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo en el área de estudio de los sondajes MASW, corresponde a Tipo S₂ (Suelos intermedios, que corresponden los suelos medianamente rígidos) cuya velocidad de ondas de corte Vs30 varía de 342 m/s a 356 m/s. Estos valores se aprecian en el Cuadro 11.
- Se observa valores similares de medición de ondas de corte Masw y ensayos de microtremor realizados por el CISMID el año 2013 en zonas cercanas a la sede de Sencico Cusco, por lo que los valores obtenidos en esta campaña se aprecian coherentes.
- Se recomienda realizar estudios de exploraciones directas como ensayos SPT, calicatas profundas y ensayos de laboratorio de suelos en la zona de estudio, para tener una mejor caracterización de los suelos.
- Se recomienda también realizar posteriormente estudios de amplificación sísmica unidimensional y/o bidimensional de manera de poder inferir cuanto podría amplificar las ondas sísmicas en los suelos de esta sede de Sencico Cusco.
- Los ensayos geofísicos sísmicos realizados en la zona de estudio, son pruebas no invasivas, puede evaluarse la estructura natural de los suelos sin producir deformaciones en los mismos; y que a comparación de los métodos directos permiten explorar el subsuelo a una profundidad de investigación razonable.
- Los resultados de este estudio se aplican únicamente al área estudiada y no podrán ser utilizados en otros sectores o para otros fines.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 67 de 68

12.0 REFERENCIAS

Araei1 A., Razeghi1, H., y Ghalandarzadeh A (2010), “Dynamic Properties of Gravelly Materials”, Transaction A: Civil Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 245-261, Sharif University of Technology.

Astier, J., L. (1975), “Geofísica Aplicada a la Hidrogeología”, PARANINFO, Madrid, España.

ASTM D5777 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation. (American society for testing and material).

Ayashi, K (2003), “Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods”. Short Course - SAGEEP 2003.

Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W.(2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 mapa.

CISMID (1991), “Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos”. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Das, B. M., (2001), “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, Cuarta Edición, Internacional Thomson Editores, México.

Estudio Geotécnico con fines de Cimentación, “NUEVO LOCAL INSTITUCIONAL SUB CAFAE – SE - CUSCO” 2015

Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco, 2004
http://bvpad.indecı.gov.pe/doc/estudios_CS/Region_Cusco/cusco/cusco_mp.pdf

Fahey M. y Carter J.P. (1993). “A finite element study of the pressurometer in sand using non-linear elastic plastic model”, Canadian Geotech. Jour., 30: 348-362.

Figuerola, J., C. (1974), “Tratado de Geofísica Aplicada”, LITOPRINT, Madrid.

Geología del cuadrángulo Cusco 28 s, Boletín N 138 serie A Carta Geológica Nacional, escala 1: 50,000, Lima, 2011

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

INFORME FINAL

Página 68 de 68

Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.

Lankston, R. W., "High Resolution Refraction Data Acquisition and Interpretation", Geo-Compu-Graph, Inc., U.S.A.

Mayne P.W. (2001). "Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced insitu tests", Proc. Int. Conf. on In-Situ Measurements of Soil Properties and Case Histories, Bali, Indonesia, 27-48.

Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic sources", Geophysics, Vol. 51, Nº 11, Pag. 2067 – 2092, U.S.A.

Park, C., Miller, R. y Xía, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. Nº 3. p: 800-808.

Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M.(1999), Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.

Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001^a. "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.

Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations", Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.

U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.

Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave Data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc, U.S.

Suarez, M. (2020), Evaluación de combinación de componentes horizontales de registros sísmicos usando los métodos: GMax, GM, GMRotDpp, GMRotlpp y SRSS

Tablas

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

TABLAS

Página 1 de 4

**TABLAS RESUMEN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS
(REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW, MASW 2D, MAM Y MICROTREMOR)**

LÍNEA	PUNTO		ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
LS-01	INICIO	A	179296.62	8502864.77	3358.51
	FINAL	B	179325.36	8502943.08	3358.76

Tabla 01: Coordenadas WGS84 – Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica

CÓDIGO	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MASW-01	CENTRO	179332.41	8502844.05	3358.12
MASW-02	CENTRO	179309.31	8502899.80	3358.62

Tabla 02: Coordenadas WGS84 – Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW

LÍNEA	PUNTO		ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MASW2D-01	INICIO	C	179379.70	8502821.82	3357.92
	FINAL	D	179315.42	8502851.71	3358.40

Tabla 03: Coordenadas WGS84 – Ensayos Geofísicos – Ensayo MASW-2D

CÓDIGO	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MAM-01	CENTRO	179316.14	8502917.49	3358.70
MAM-02	CENTRO	179295.83	8502858.56	3358.49

Tabla 04: Coordenadas WGS84 – Ensayos Geofísicos – Sondajes MAM

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

TABLAS

Página 2 de 4

CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MIC-01	179333.93	8502851.49	3358.28
MIC-02	179365.02	8502851.64	3358.26
MIC-03	179339.23	8502996.51	3358.96

Tabla 05: Coordenadas WGS84 – Ensayos Geofísicos – MICROTREMOR

LÍNEA	LONGITUD TOTAL (m)	TIPO DE ONDA
LS-01	84	Onda P
TOTAL	84	

Tabla 06: Relación de Ensayos - Refracción Sísmica

CÓDIGO	LONGITUD (m)	TIPO DE ONDA
MASW-01	70	Onda S
MASW-02	70	Onda S
TOTAL	140	

Tabla 07: Relación de Ensayos - Sondajes MASW

LÍNEA	LONGITUD TOTAL (m)	TIPO DE ONDA
MASW2D-01	72	Onda S
TOTAL	72	

Tabla 08: Relación de Ensayos – MASW2D

CÓDIGO	LONGITUD (m)	TIPO DE ONDA
MAM-01	115	Onda S
MAM-02	110	Onda S
TOTAL	225	

Tabla 09: Relación de Ensayos - Sondajes MAM

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

TABLAS

Página 3 de 4

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor(m)	Descripción
LS-01 (A-B)	1	200 – 300	0.4 – 1.2	Material granular suelto
	2	300 – 700	2.6 – 3.2	Material granular medianamente denso
	3	700 – 1200	20.8 – 23.7	Material granular denso

Tabla 10: Resumen de Ensayos - Refracción Sísmica

Línea	Estrato	Vs(m/s)	Espesor(m)	Prof.(m)	Descripción
MASW-01	01	222 – 277	2.4	2.4	Material granular medianamente denso
	02	310 – 378	27.6	30.0	Material granular denso
MASW-02	01	239 – 286	2.4	2.4	Material granular medianamente denso
	02	336 – 383	27.6	30.0	Material granular denso

Tabla 11: Resumen de Ensayos - Sondajes MASW

Línea	Estrato	Vs (m/s)	Espesor(m)	Descripción
MASW2D-01 (C-D)	1	240 – 300	1.8 – 3.6	Material granular medianamente denso
	2	300 – 580	27.0 – 30.7	Material granular denso

Tabla 12: Resumen de Ensayos - Sondajes MASW2D

Línea	Estrato	Vs(m/s)	Espesor(m)	Prof.(m)	Descripción
MAM-01 (E-F-G)	01	244 – 297	3.2	3.2	Material granular medianamente denso
	02	329 – 471	76.8	80.0	Material granular denso
MAM-02 (H-I-J)	01	243 – 298	3.0	3.0	Material granular medianamente denso
	02	328 – 452	77.0	80.0	Material granular denso

Tabla 13: Resumen de Ensayos - Sondajes MAM

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO
A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

TABLAS

Página 4 de 4

Ensayo	Punto	Frecuencia (Hz)	Periodo fundamental (Seg.)
MIC-01	Espec. Fourier 01	2.43254	0.41109
MIC-02	Espec. Fourier 02	2.37321	0.42137
MIC-03	Espec. Fourier 03	2.25885	0.44270

Tabla 14: Resumen de Ensayos – Microtremor

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

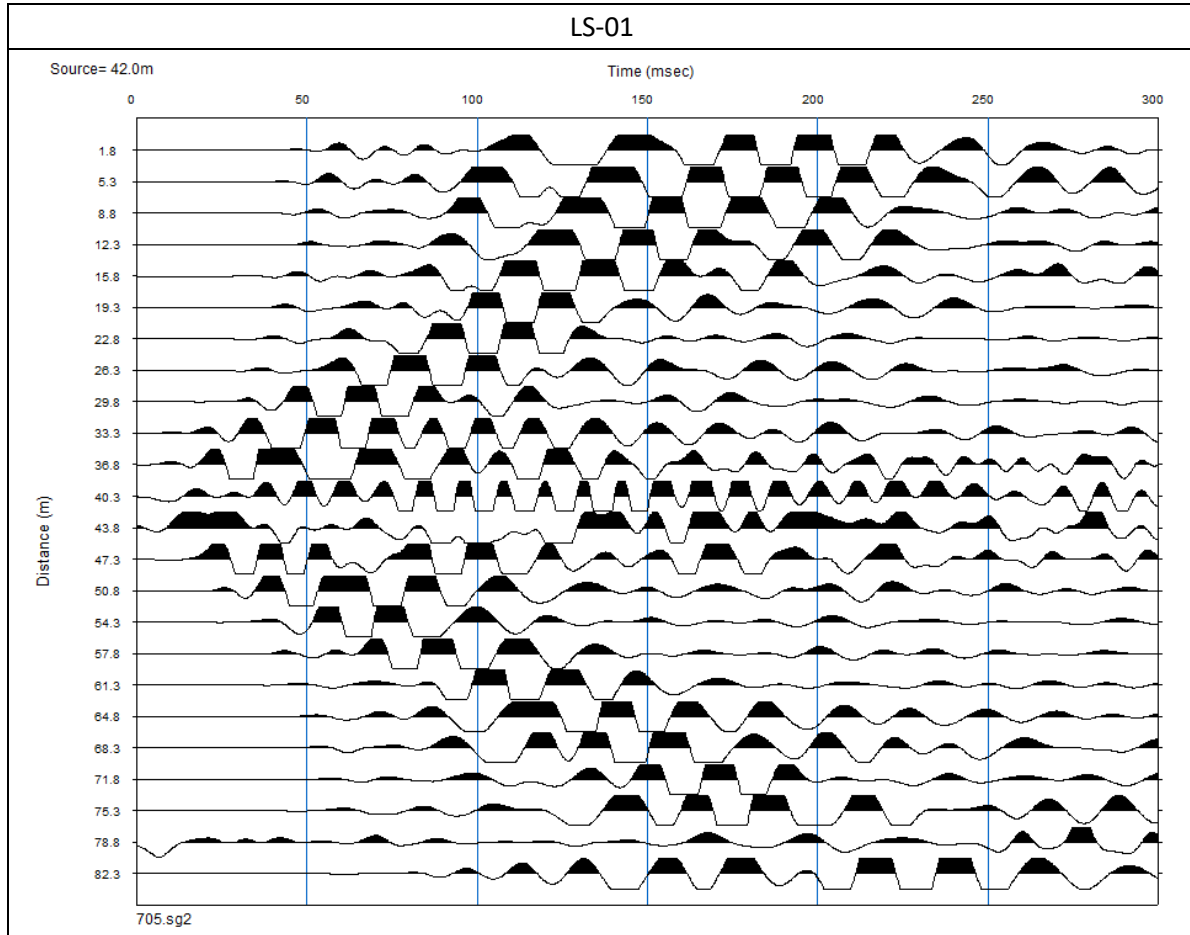
Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

Anexos

Anexo 1.0
Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica

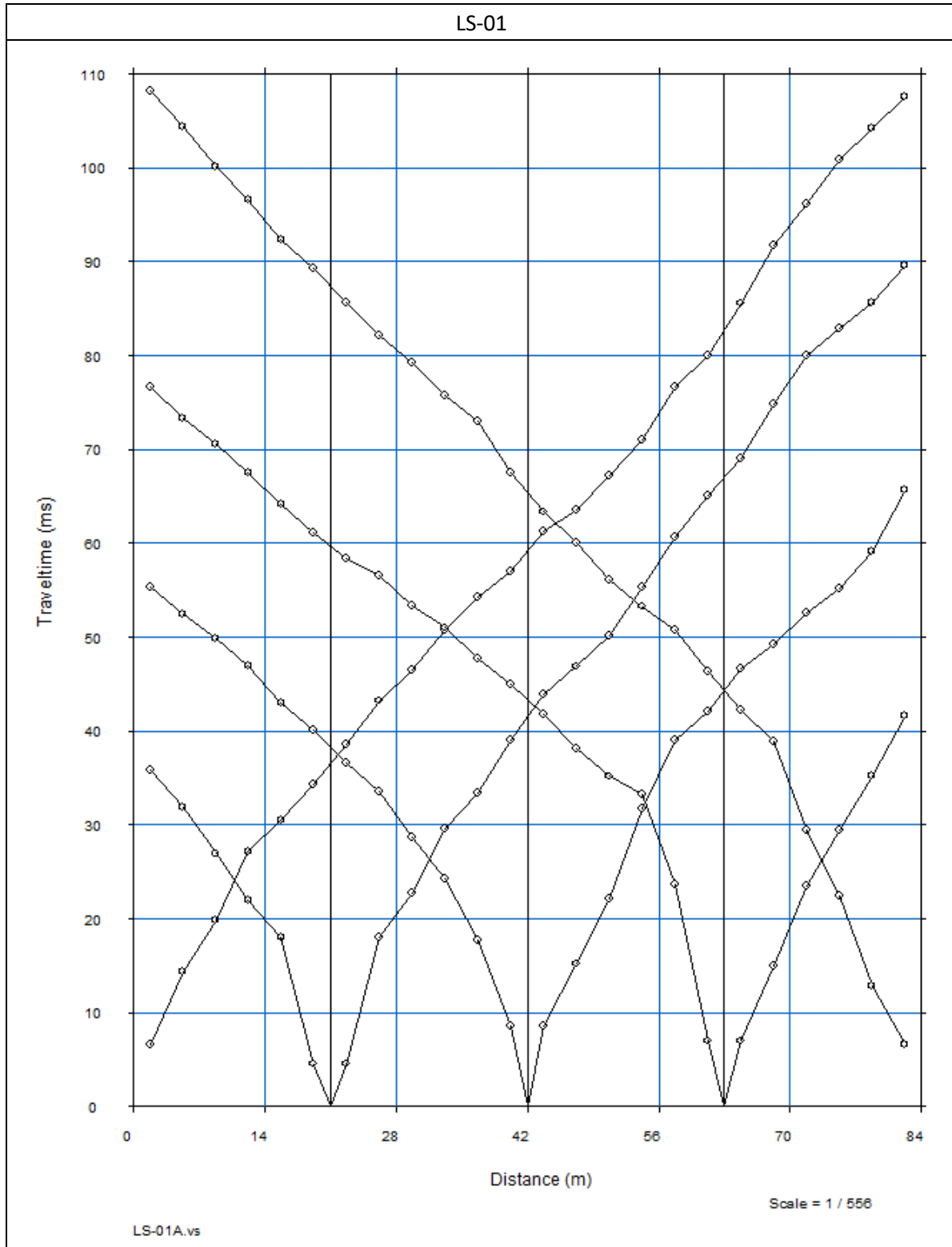
Anexo 1.1
Registros de Ondas Sísmicas
Refracción Sísmica

REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS – REFRACTIÓN SÍSMICA



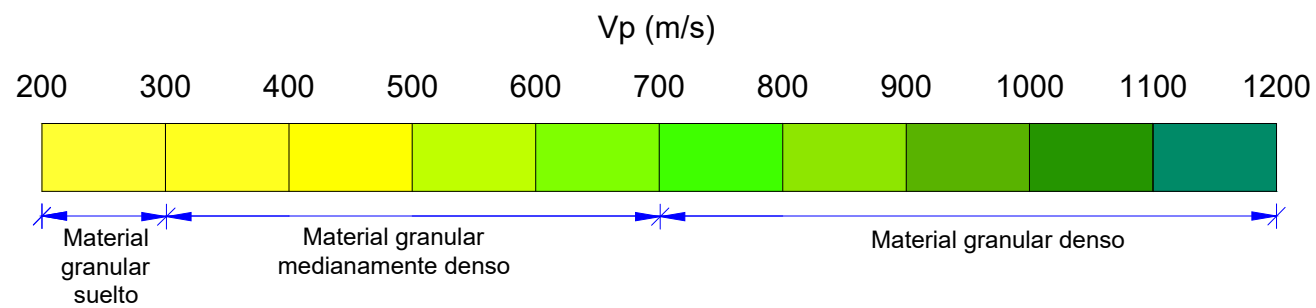
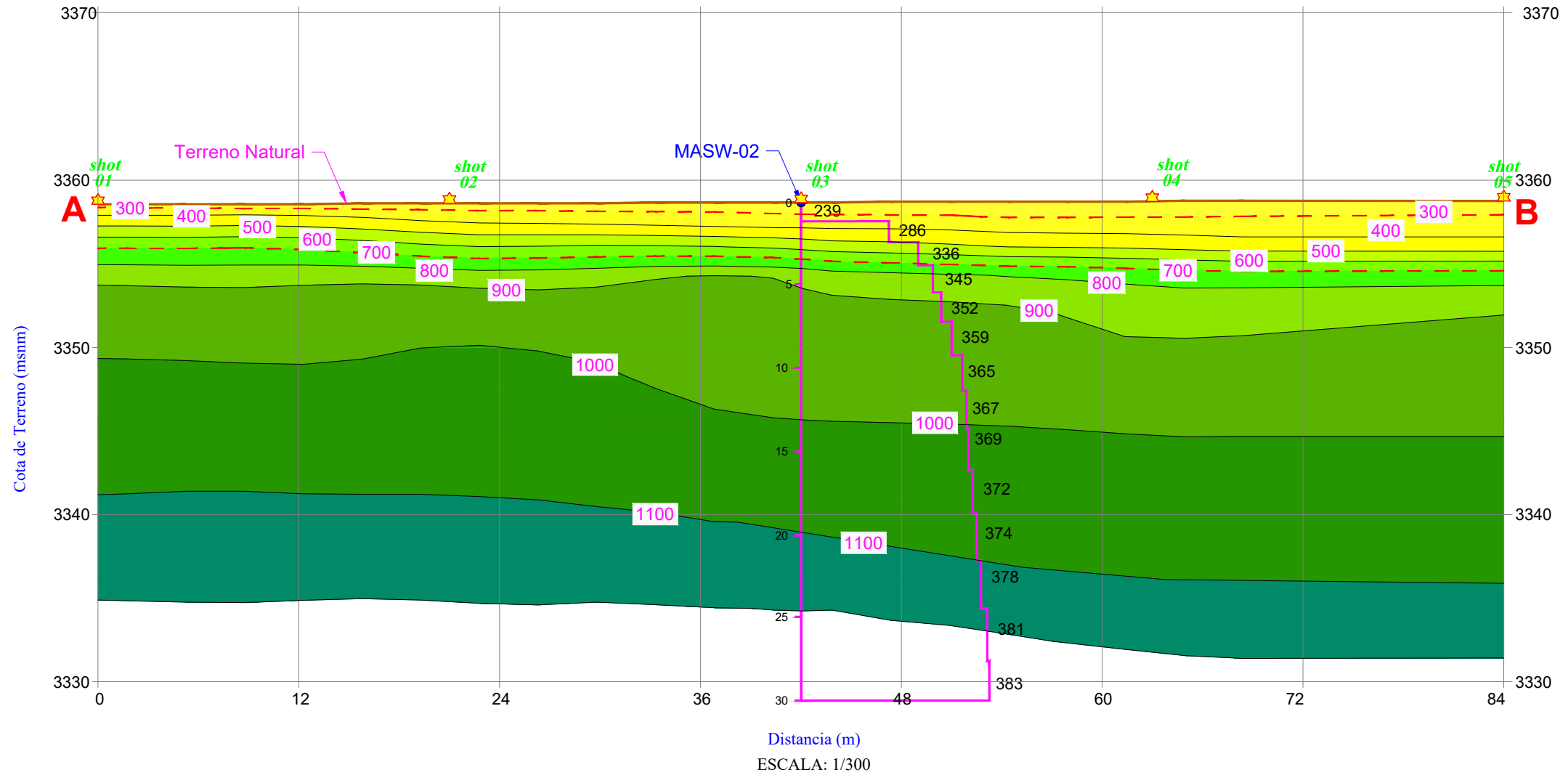
Anexo 1.2
Dromocrónicas

DROMOCRÓNICAS – REFRACCIÓN SÍSMICA



Anexo 1.3
Perfiles de Refracción Sísmica

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LS-01



LEYENDA	
—	Superficie del terreno
- - -	Estrato
★	Punto de Impacto

REV. N°	FECHA	PLANO. N°	PLANOS DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIB.	DIS.	REV.	APR.	ELABORADO POR:	ENCARGADOS	PROYECTO:	CLIENTE:	TÍTULO DE PROYECTO:
1	DICIEMBRE/2022	L-01	PERFILES DE REFRACCIÓN	EMITIDO PARA INFORME FINAL	LA.	Y.P.	Y.P.	Y.P.	ING. YRIS PARIPANCA	DIBUJADO POR: ING. LUIS ALI DISEÑADO POR: ING. YRIS PARIPANCA REVISADO POR: ING. YRIS PARIPANCA APROBADO POR: ING. YRIS PARIPANCA	ESTUDIO GEOFÍSICO	SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO
										PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO	CLIENTE: SENCICO	TÍTULO DE PLANO: PERFIL SÍSMICO LÍNEA LS-01	
										PAIS: PERÚ		ESCALA: INDICADA	
										DEPARTAMENTO: CUSCO		CÓDIGO DE PROYECTO: 2211_SENCICO-CUSCO	
										PROVINCIA: CUSCO		PLANO: L-01	
										DISTRITO: HUANCHAO			

Anexo 1.4
Tablas de propagación de ondas P (Vp)

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

1.4 - Tablas de propagación de ondas P(Vp)

Página 1 de 6

Se muestran a continuación una recopilación de tablas de velocidades de diferentes libros relacionados con la Geofísica aplicada a la geotecnia. Cuando se requiera interpretar las velocidades que se obtienen de los estratos, cada interprete tomará según su criterio y experiencia la (s) tabla conveniente para dar un resultado final del tipo de material que conforma cada estrato.

Materiales	Vp (m/s)
Capa meteorizada.	300 — 900
Aluviones modernos.	350 — 1500
Arcillas.	1000 - 2000
Margas.	1800 — 3200
Areniscas.	1400 — 4500
Conglomerados	2500 — 5000
Calizas	4000 — 6000
Dolomitas	5000 — 6000
Sal	4500 — 6500
Yeso	3000 — 4000
Anhidrita	3000 — 6000
Gneises	3100 — 5400
Cuarcitas	5100 — 6100
Granitos	4000 — 6000
Gabros	6700 — 7300
Dunitas	7900 — 8400
Diabasas	5800 — 7100

Tabla N° 1. Tratado de Geofísica aplicada José Santos Figueroa (Madrid — España 1979). Las rocas tienen velocidades variables entre los límites que se indican, dependiendo de la profundidad y constantes elásticas.

Material no consolidado	Vp (m/s)
La mayoría de los materiales	
No consolidados	< 915
Suelo normal	245 — 455
Suelo bien consolidado	455 — 610
Agua	1525
Arena suelta	
— Sobre el manto freático	245 — 610
— Bajo el manto freático	455 — 1220
Arena suelta mezclado con grava húmeda	455 — 1065
Grava suelta, húmeda.	455 — 915

Tabla N° 2 Soiltest (1964).

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

1.4 - Tablas de propagación de ondas P(Vp)

Página 2 de 6

Material consolidado	Vp (m/s)
La mayoría de las rocas rígidas (masivos, sanas)	>2450
Carbón	915 — 1525
Arcilla	915 — 1830
Exquisito — blando	1220 — 2135
Arenisca — rígido	1830 — 3050
Caliza — meteorizada	<1220
Caliza — rígida	2450 — 5485
Basalto	2450 — 3960
Granito y gneis sin alteración	3050 — 6100
Morena glacial, torca, gravas cementadas y suelo congelado	3050 — 3655
Hielo puro (glaciares)	3050 — 3655

Tabla N° 3. Soiltest (1964)

Material	Vp (m/s)
Arenas sueltas seca	150 — 450
Arcilla dura, parcialmente saturada	600 — 1200
Agua, suelo suelto saturado	1600
Suelo saturado	1200 — 3000
Roca meteorizada *	
Roca sana	2000—6000

*No se da un valor que se supone es menor que la roca sana y puede variar según la intensidad de meteorización aún hasta el valor mínimo de una arena suelta seca.

Tabla N° 4. Sowers B y F (1972)

Velocidad de onda longitudinal para suelos		
Término	Suelos y rocas equivalentes	Vp (m/s)
Muy bajo	Suelo blando	<300
Bajo	Arena y gravas	300 — 1000
Moderado	Rocas blandas, gravas y arenas compactadas.	1000 — 2000
Alto	Roca compacta	2000 — 4000
Muy alto	Rocas muy compactas	> 400tJ

Tabla N° 5. Martinez (1982)

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

1.4 - Tablas de propagación de ondas P(Vp)

Página 3 de 6

Formaciones	Vp (m/s)
Aire	330
Agua dulce	1450
Limos	200 — 600
Capa superficial no consolidada y seca	200 — 600
Aluviones secos	600 — 1200
Aluviones húmedos	1600 — 2400
Arcillas	1800 — 2200
Tobas volcánicas	1800 — 2500
Margas, creta	2300
Arenisca	2000 — 3500
Lavas	2500 — 4000
Calizas y dolomitas	3500
Esquistos, mica esquistos	3000 — 4500
Gneis, cuarcitas	3500 — 5000
Granitos	4000 — 6000

Tabla N° 6. Geofísica Aplicada a la Hidrología CJ. L.Astier — Madrid — España (1975)

Formaciones	Vp (m/s)
Costra ferruginosa	500 — 200
Arcillas lateríticas secas	500 — 1000
Arcillas lateríticas húmedas	1500 — 2000
Arenas caolinicas o esquistos muy alterados	1000 — 2000
Arenas de grano grueso húmedas	1500 — 2000
Esquistos metamórficos húmedos	2000 — 3000
Granito o gneis fisurados	2000 - 3500
Esquistos sanos	3000 — 4500
Granito o gneis sanos	3500 — 6000

Tabla N° 7. Investigación en regiones plutónicas y metamórficas (J.L. Astier — Madrid — España 1975).

Material	Vp(m/s)
Roca sana y fresca	5000+
Ligeramente meteorizada y/o con fracturas grandemente espaciadas.	4000 — 5000
Moderadamente meteorizada y con fracturas relativamente cercanas	30110 — 4000
Altamente meteorizadas y/o con fracturas muy cercanas	000 — 3000
Completamente meteorizadas (saprolito) y/o trituradas	1200 — 2000
Suelo residual (saprolito no estructurado), resistente	1200 — 1500
Suelo residual, débil y seco.	600 — 900

Tabla N° 8. Velocidades típicas de ondas P en Rocas Ígneas, Metamórficas, Meteorizada y Fracturada. Ingeniería Geotécnica Manual de Investigación (Roy E. Hunt 1985).

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

1.4 - Tablas de propagación de ondas P(Vp)

Página 4 de 6

Descripción	Vp (m/s)
Suelo de cobertura	<1000
Roca muy alterada o aluvión compacto	1000 — 2000
Roca muy alterada o aluvión muy compacto	2000 — 4000
Roca poca alterada	4000 — 5000
Roca firme	> 5000

Tabla N° 9. Arce Helberg (1990).

Descripción	Vp (m/s)
Suelo intemperado	204 — 610
Grava o arena seca	460 — 915
Arena saturada	1220 — 1830
Roca metamórfica	3050 — 7000

Tabla N° 10. Norma ASTM 5777-95.

Material	Vp (m/s)
Suelo de cobertura, aluvional suelto, roca meteorizada suelta, suelo residual.	<1000
Roca muy alterada o muy fracturada, aluvional poco compacto.	1000 — 2000
Roca alterada o fracturada, aluvional compacto.	2000 — 3000
Roca levemente alterada o levemente fracturada.	3000 — 4000
Roca firme.	> 4000

Descripción	Vp (m/s)
Arena suelta	380 — 560
Arena con grava saturada	1500 — 1900
Roca muy alterada o aluvional compacto	2300 — 2500
Roca alterada o aluvional muy compacto	3100 — 3570

Descripción	Vp (m/s)
Esquisto arcilloso	2700 — 4800
Grava arcillosa seca	300 — 900
Arena — arena húmeda	200 — 1800
Roca metamórfica	4500 — 6800

Tabla N° 11. Curvich J. (1975) Dobrin, Milton (1961), Nb (1976), Savicha y Satonor V.A. (1979).

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO EN LA SEDE DE AYACUCHO**

Descripción	Vp (m/s)
Arena suelta sobre el manto freático	245 — 610
Suelo blando	<300
Arena suelta bajo el manto freático	45 — 1220
Arenas y gravas	300 — 1000
Arena suelta mezclada con grava húmeda	455 — 1065
Rocas blancas, grava y arena compacto	1000 — 2000
Grava suelta, húmeda	455 — 915
Roca compacta	2000 — 4000
Roca muy compacta	> 4000

Tabla N° 12. Martines Vargas A. (1980)

Descripción	Vp (m/s)	
	Natural	Saturada
Turba	90	250
Arcilla	350	1350
Grava	650	2250

Tabla N° 13. Martínez del Rosario J. (1997)

Tipo de suelos	ρ (gr/cm ³)	Vp (m/seg)	Vs (m/seg)
Suelo superficial	1.2	250	90
Turba	1.2	250	90
Ceniza Volcánica	1.6	1,100	170
Limo	1.6	1,150	210
Arcilla	1.6	1,330	350
Arena	1.6	1,760	450
Arena Fina	1.6	1,78fi	460
Arena Media	1.6	1,810	600
Arena Gruesa	1.6	1,700	300
Arena Marina	1.6	1,350	360
Grava	1.7	1,910	510
Grava Gruesa	1.8	2,250	650
Esquisto de barro, depósito o acarreo fluvial	1.7	1,750	550

Tabla N° 14. Valores típicos de velocidades de ondas P y S,

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN
ACELEROGRÁFICA DE SENCICO EN LA SEDE DE AYACUCHO**



Huamanga, Ayacucho

Agosto, 2021

1.4 - Tablas de propagación de ondas P(Vp)

Página 6 de 6

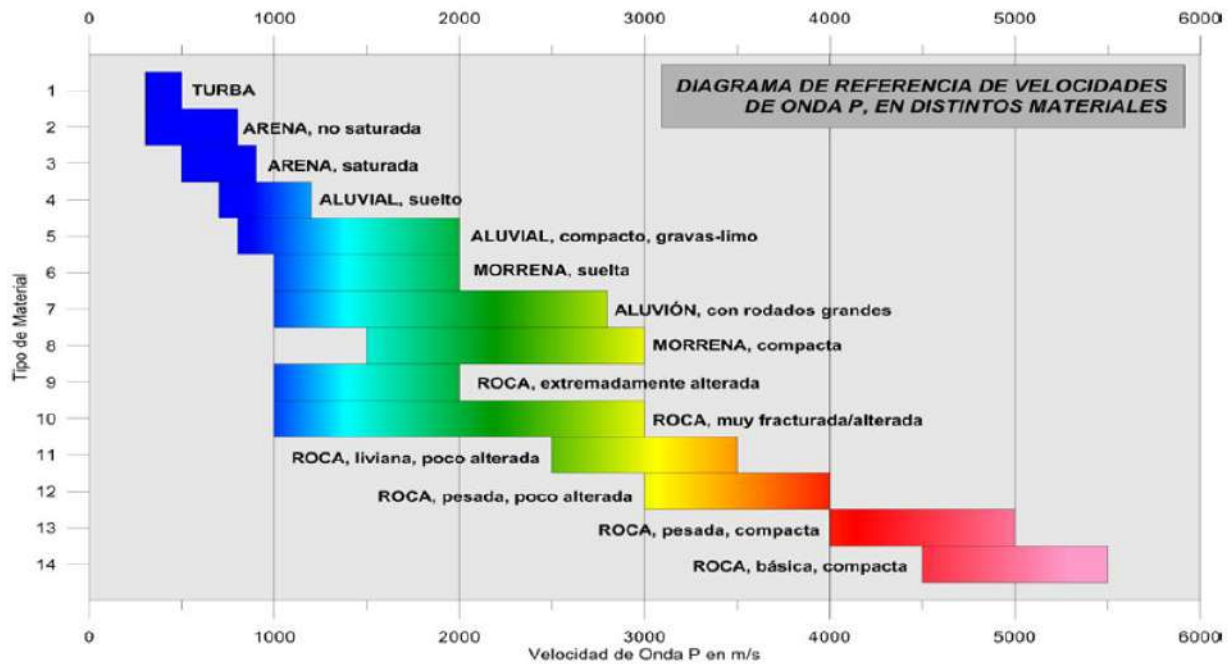


Tabla N° 15. Arce Geofísicos (2016)

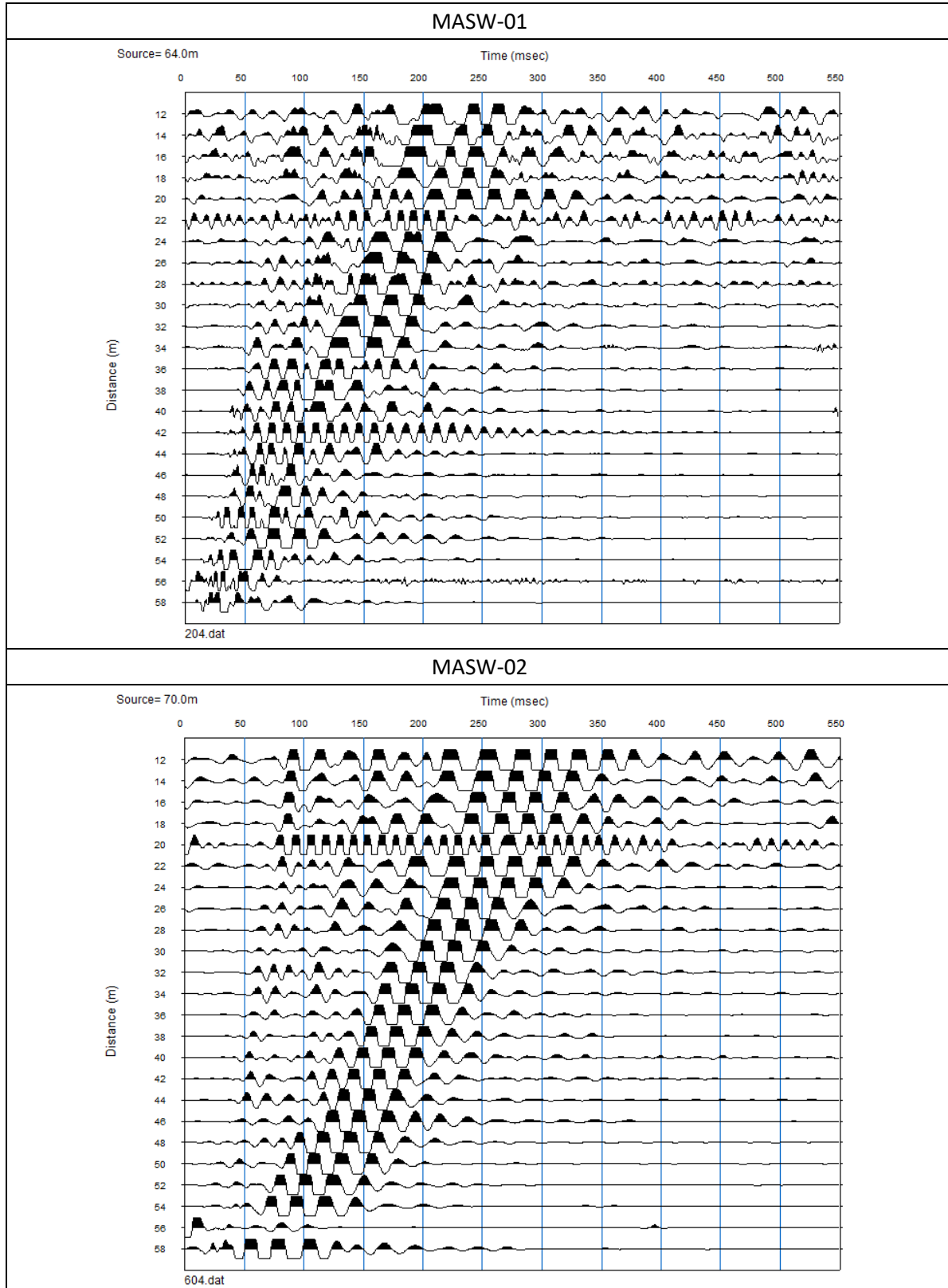
MATERIAL	Vp (m/s)
Material granular suelto	<300
Material granular medianamente denso	300-700
Material granular denso o roca muy fracturada	700-1500
Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada	1500-2700
Roca ligeramente fracturada a roca sana	2700-3500
Roca sana	>3500

Tabla N° 16. Tabla de Velocidades de Ondas P – Georys Ingenieros SAC – Lima, Perú (2015) – Fuente propia

Anexo 2.0
Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW

Anexo 2.1
Registros de Ondas Sísmicas
Sondajes MASW

REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS – SONDAJES MASW

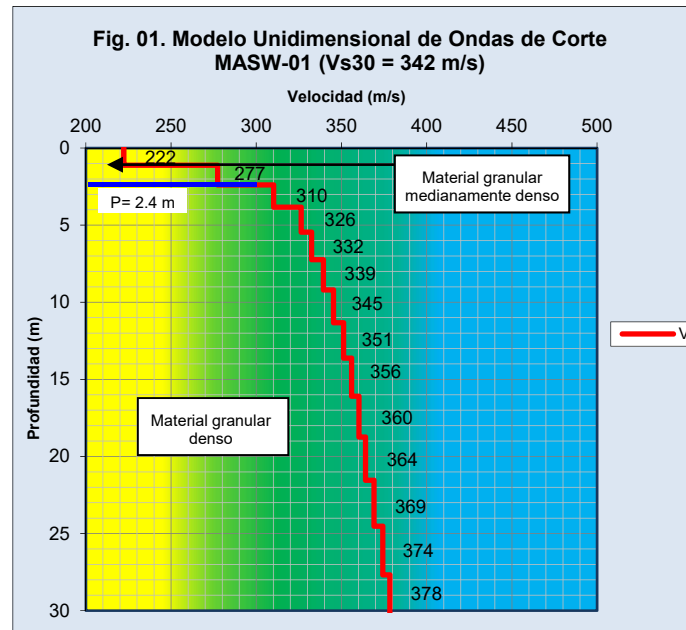
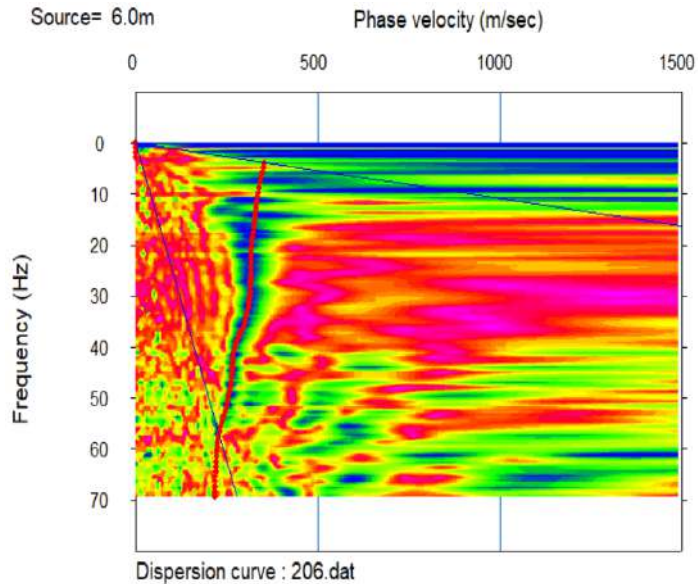


Anexo 2.2
Curva de Dispersión y Modelo
Unidimensional de Ondas de Corte
Sondajes MASW

Anexo 2.2 – Curva de Dispersión y Modelo Unidimensional – Sondajes MASW

COORDENADAS	: UTM	ESTE	: 179332.41	MODELO DE EQUIPO	: GEODE 24CH 5867
DATUM	: WGS 84	NORTE	: 8502844.05	OPERADOR	: BACH. P. YAURI
ZONA-BANDA	: 19 S	COTA	: 3358.12 msnm	REALIZADO POR	: ING. Y. PARIPANCA
UBICACIÓN	: WANCHAQ	LONG. DE ENSAYO	: 70 m	REVISADO POR	: ING. Y. PARIPANCA

Curva de dispersión.
MASW-01



Vs 30	
Prof. (m)	Vs(m/s)
1.1	222
2.4	277
3.8	310
5.5	326
7.2	332
9.2	339
11.3	345
13.6	351
16.1	356
18.7	360
21.5	364
24.5	369
27.7	374
30.0	378

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO (E - 030) 2019			
Perfil	Vs	N60	Su
So	>1500	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	<180	<15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS (IBC - 2018)		
		Velocidad de onda de corte; Vs (m/s)	Resistencia de la penetración estandar; N	Resistencia al corte no drenada; Su (psf)
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A	N/A
B	Roca	760 < Vs ≤ 1500	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs ≤ 760	N > 50	Su ≥ 2000
D	Suelo rígido	180 ≤ Vs ≤ 360	15 ≤ N ≤ 50	1000 ≤ Su ≤ 2000
E	Suelo blando	Vs < 180	N ≤ 15	Su < 1000

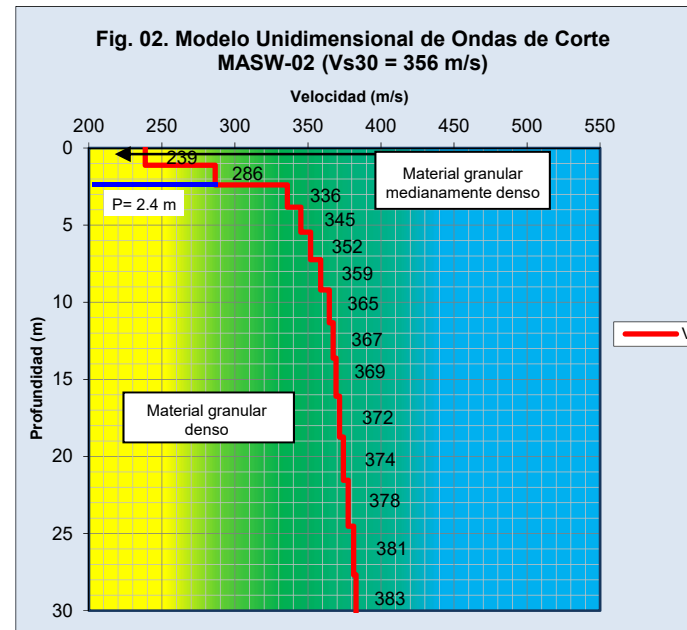
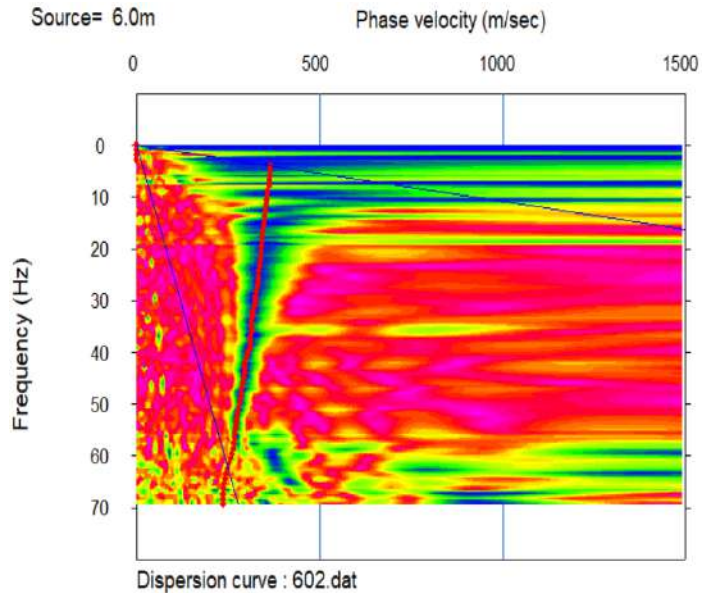
Vs 30	E - 030
342	S2

Vs 30	IBC - 2018
342	D

Anexo 2.2 – Curva de Dispersión y Modelo Unidimensional – Sondajes MASW

COORDENADAS	: UTM	ESTE	: 179309.31	MODELO DE EQUIPO	: GEODE 24CH 5867
DATUM	: WGS 84	NORTE	: 8502899.8	OPERADOR	: BACH. P. YAURI
ZONA-BANDA	: 19 S	COTA	: 3358.62 msnm	REALIZADO POR	: ING. Y. PARIPANCA
UBICACIÓN	: WANCHAQ	LONG. DE ENSAYO	: 70 m	REVISADO POR	: ING. Y. PARIPANCA

Curva de dispersión.
MASW-02



Vs 30	
Prof. (m)	Vs(m/s)
1.1	239
2.4	286
3.8	336
5.5	345
7.2	352
9.2	359
11.3	365
13.6	367
16.1	369
18.7	372
21.5	374
24.5	378
27.7	381
30.0	383

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO (E - 030) 2019			
Perfil	Vs	N60	Su
So	>1500	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	<180	<15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS (IBC - 2018)		
		Velocidad de onda de corte; Vs (m/s)	Resistencia de la penetración estandar; N	Resistencia al corte no drenada; Su (psf)
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A	N/A
B	Roca	760 < Vs ≤ 1500	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs ≤ 760	N > 50	Su ≥ 2000
D	Suelo rígido	180 ≤ Vs ≤ 360	15 ≤ N ≤ 50	1000 ≤ Su ≤ 2000
E	Suelo blando	Vs < 180	N ≤ 15	Su < 1000

Vs 30	E - 030
356	S2

Vs 30	IBC - 2018
356	D

Anexo 2.3
Parámetros Elásticos del Suelo

Anexo 2.3 – Parámetros Elásticos del suelo

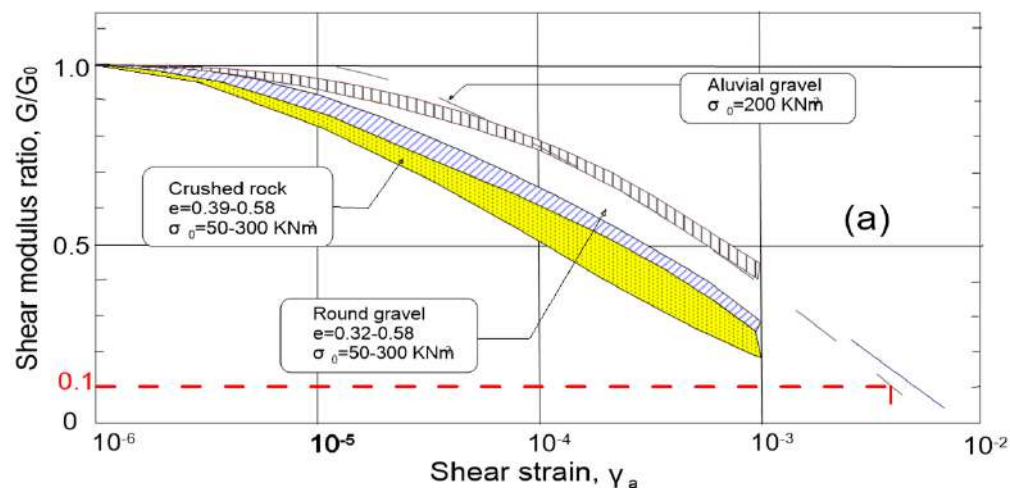
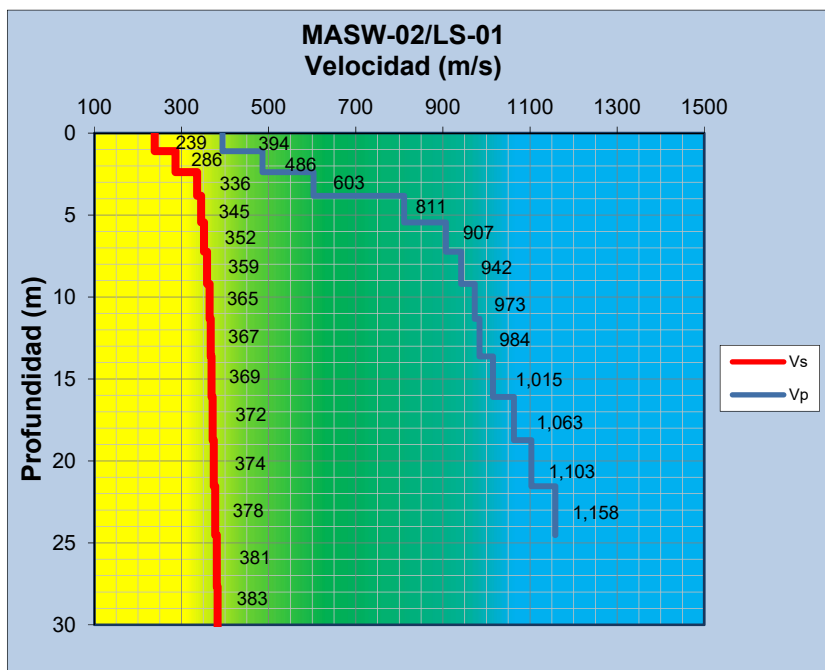


Fig.1. Curva de degradación del material - Ishihara, 1996. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics

SUELO	Prof.	Espesor	Vs	Vp	ρ	μ	Módulo de Corte G max	Módulo de Elasticidad E max	Mod Elast Reducida E=0.1*Emáx	Módulo de Bulk K
	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(Kg/m3)	(Poisson)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)
Material granular medianamente denso	1.1	1.1	239	394	1633	0.21	9.30E+07	2.25E+08	2.25E+07	1.30E+08
Material granular medianamente denso	2.4	1.3	286	486	1682	0.23	1.38E+08	3.41E+08	3.41E+07	2.13E+08
Material granular denso	3.8	1.4	336	603	1736	0.28	1.96E+08	4.99E+08	4.99E+07	3.70E+08
Material granular denso	5.5	1.6	345	811	1820	0.39	2.17E+08	6.02E+08	6.02E+07	9.08E+08
Material granular denso	7.2	1.8	352	907	1854	0.41	2.29E+08	6.48E+08	6.48E+07	1.22E+09
Material granular denso	9.2	2.0	359	942	1866	0.42	2.40E+08	6.79E+08	6.79E+07	1.34E+09
Material granular denso	11.3	2.1	365	973	1877	0.42	2.49E+08	7.08E+08	7.08E+07	1.44E+09
Material granular denso	13.6	2.3	367	984	1880	0.42	2.54E+08	7.20E+08	7.20E+07	1.48E+09
Material granular denso	16.1	2.5	369	1015	1891	0.42	2.58E+08	7.34E+08	7.34E+07	1.60E+09
Material granular denso	18.7	2.6	372	1063	1906	0.43	2.63E+08	7.53E+08	7.53E+07	1.80E+09
Material granular denso	21.5	2.8	374	1103	1919	0.43	2.69E+08	7.72E+08	7.72E+07	1.98E+09
Material granular denso	24.5	3.0	378	1158	1936	0.44	2.76E+08	7.95E+08	7.95E+07	2.23E+09

Anexo 2.4
Tablas de propagación de ondas S (Vs)

SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

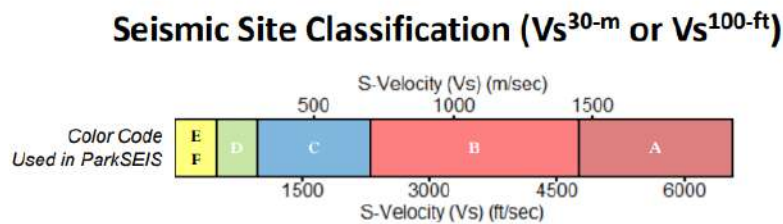
Anexo 2.4 – Tablas de propagación de ondas S (Vs)

Página 1 de 10

Se muestran a continuación una recopilación de tablas y Normas de velocidades de ondas de corte Vs aplicadas en varios países para los estudios de suelos y las caracterizaciones geotécnicas. Cada interprete tomará según su criterio y experiencia la (s) tabla conveniente para dar un resultado final del tipo de material que conforma cada estrato.

MATERIAL	Vs (m/s)
Material granular suelto	<180
Material granular medianamente denso	180-300
Material granular denso o roca muy fracturada	300-700
Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada	700-1500
Roca ligeramente fracturada a roca sana	1500-2100
Roca sana	>2100

Tabla N° 1. Tabla de Velocidades de Ondas S – Georys Ingenieros SAC – Lima, Perú (2015) – Fuente Propia



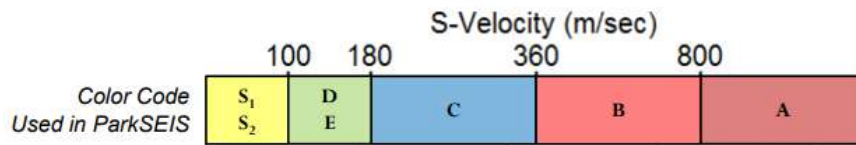
NEHRP* Seismic site classification based on shear-velocity (V_s) ranges.

Site Class	S-Velocity (V_s) (ft/sec)	S-Velocity (V_s) (m/sec)
A (Hard Rock)	> 5,000	> 1500
B (Rock)	2,500 – 5000	760 – 1500
C (Very Dense Soil and Soft Rock)	1,200 – 2,500	360 – 760
D (Stiff Soil)	600 – 1,200	180 – 360
E (Soft Clay Soil)	< 600	< 180
F (Soils Requiring Add'l Response)	< 600, and meeting some additional conditions.	< 180, and meeting some additional conditions.

Tabla N° 2. National Earthquake Hazard Reduction Program (www.nehrp.gov)



Ground Types - Euro Code*



Type	Description	Parameters		
		V _{s30} ^a	N _{SPT} ^b	C _u ^c
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of meters in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of meters.	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with V _s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with V _s > 800 m/s.			
S₁	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index (PI > 40) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 – 20
S₂	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S ₁ .			

* defined by shear wave velocities (V_s's) in the top 30 m, and also by values for N_{SPT} and C_u [from "Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked Examples (EUR 25204 EN – 2012)" by Bisch et al. (2011)]

^a shear wave velocities in the top 30 m (m/sec), ^b standard penetration test (blows/30cm), ^c undrained cohesive resistance (kPa)

Tabla N° 3. Ground Types - Eurocode*



Clasificación de ondas de corte en base a Normas Internacionales

IBC 2003 -2006 - 2009 - 2012 International Building Code (Código Internacional de la Edificación)

Esta norma fue una de las primeras en clasificar a los suelos en base a la velocidad de ondas de corte promedio de los 30 primeros metros (100 pies) en U.S.A., ya en el año 2003 tenía una clasificación, que no ha cambiado en mayor medida con las versiones de IBC 2006, 2009 y 2012.

El alcance de este código cubre todas las edificaciones con excepción de viviendas para una y dos familias, y casas contiguas de menos de tres pisos. Este código integral incluye conceptos de seguridad estructural de comprobada eficacia y disposiciones de protección contra incendios y seguridad de vida que cubren medios de salida, requisitos para acabados interiores, disposiciones integrales para techados, disposiciones de ingeniería sísmica, tecnologías constructivas innovadoras, clasificaciones de uso o destino, y los estándares de la industria más avanzados en materiales de diseño. Está basado en amplios principios que hacen posible el uso de nuevos materiales y nuevos diseños de la edificación.

Estos documentos han sido preparados en conjunto con la U.S. Geological Survey, Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, y E.V. Leyendecker, A.D. Frankel, y K.S. Rukstales de la U.S. Geological Survey.

Las normas posteriores, como son: ASCE 7-10 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures), ASCE 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures), FEMA 450, FEMA 451B, Eurocode 8: (Seismic Design of Buildings - Lisbon, 10-11 Feb. 2011), etc.; así como también ha influenciado en todas las normas de diseño sismorresistente de todos los países de mundo.



2006 International Building Code

Site class definitions. Based on the site soil properties, the site shall be classified as either Site Class A, B, C, D, E or F in accordance with Table 16. When the soil properties are not known in sufficient detail to determine the site class, Site Class D shall be used unless the building official or geotechnical data determines that Site Class E or F soil is likely to be present at the site.

SITE CLASS DEFINITIONS

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, SEE SECTION 1613.5.5		
		Soil shear wave velocity, \bar{v}_s , (ft/s)	Standard penetration resistance, \bar{N}	Soil undrained shear strength, \bar{s}_u , (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	N/A	N/A
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	N/A	N/A
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$, 2. Moisture content $w \geq 40\%$, and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ feet)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa. N/A = Not applicable

Tabla N° 4. SITE CLASS DEFINITIONS – IBC 2006



FEMA 450 – NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures - USA - 2004

3.5 SITE CLASSIFICATION FOR SEISMIC DESIGN

Where the soil properties are not known in sufficient detail to determine the Site Class in accordance with Sec. 3.5.1, it shall be permitted to assume Site Class D unless the authority having jurisdiction determines that Site Class E or F could apply at the site or in the event that Site Class E or F is established by geotechnical data.

3.5.1 Site Class definitions. The Site Classes are defined as follows:

- A Hard rock with measured shear wave velocity, $\bar{v}_s > 5,000$ ft/sec (1500 m/s)
- B Rock with $2,500$ ft/sec $< \bar{v}_s \leq 5,000$ ft/sec (760 m/s $< \bar{v}_s \leq 1500$ m/s)
- C Very dense soil and soft rock with $1,200$ ft/sec $< \bar{v}_s \leq 2,500$ ft/sec (360 m/s $< \bar{v}_s \leq 760$ m/s) or with either $\bar{N} > 50$ or $\bar{s}_u > 2,000$ psf (100 kPa)
- D Stiff soil with 600 ft/sec $\leq \bar{v}_s \leq 1,200$ ft/sec (180 m/s $\leq \bar{v}_s \leq 360$ m/s) or with either $15 \leq \bar{N} \leq 50$ or $1,000$ psf $\leq \bar{s}_u \leq 2,000$ psf (50 kPa $\leq \bar{s}_u \leq 100$ kPa)
- E A soil profile with $\bar{v}_s < 600$ ft/sec (180 m/s) or with either $\bar{N} < 15$, $\bar{s}_u < 1,000$ psf, or any profile with more than 10 ft (3 m) of soft clay defined as soil with $PI > 20$, $w \geq 40$ percent, and $s_u < 500$ psf (25 kPa)
- F Soils requiring site-specific evaluations:
 - 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils.

ASCE 7-10 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures – USA 2010

CHAPTER 20 SITE CLASSIFICATION PROCEDURE FOR SEISMIC DESIGN

Table 20.3-1 Site Classification

Site Class	\bar{v}_s	\bar{N} or \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u
A. Hard rock	$>5,000$ ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50	$>2,000$ psf
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50	1,000 to 2,000 psf
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15	$<1,000$ psf
	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: —Plasticity index $PI > 20$, —Moisture content $w \geq 40\%$, —Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.3.1		

For SI: 1 ft/s = 0.3048 m/s; 1 lb/ft² = 0.0479 kN/m².

Tabla N° 5. Site Classification procedure for Seismic Design – ASCE 7-10

Eurocode 8: Seismic Design of Buildings - Lisbon, 10-11 Feb. 2011

Table 1.2.3 Ground Types

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

Tabla N° 6. Ground Types – Eurocode 8



**ASCE 7-16 - ASCE 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures)
– USA - 2017**

Table 20.3-1 Site Classification

Site Class	\bar{v}_s	\bar{N} or \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u
A. Hard rock	>5,000 ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50 blows/ft	>2,000 lb/ft ²
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50 blows/ft	1,000 to 2,000 lb/ft ²
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15 blows/ft	<1,000 lb/ft ²
	Any profile with more than 10 ft of soil that has the following characteristics:		
	— Plasticity index $PI > 20$,		
	— Moisture content $w \geq 40\%$,		
	— Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ lb/ft ²		
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.3.1		

Note: For SI: 1 ft = 0.3048 m; 1 ft/s = 0.3048 m/s; 1 lb/ft² = 0.0479 kN/m².

Tabla N° 7. Site Classification – ASCE 7-16 - 2017

**NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN
PELIGRO SÍSMICO / DISEÑO SISMO RESISTENTE – ECUADOR - 2015
CÓDIGO: NEC - SE - DS**

La norma ecuatoriana llamada "Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente" NEC-SE-DS 2015 está basada en distintas normas internacionales siendo una de sus principales fuentes la norma de los Estados Unidos, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" ASCE7-2010. Entre estas dos normas hay diferencias en los requerimientos para el diseño sismo resistente, siendo la ASCE7-10 una norma bajo numerosos estudios y constantes actualizaciones, es una buena herramienta para establecer si la rigurosidad de la norma ecuatoriana es adecuada mediante su comparación.

Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la Tabla 8.

Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.

Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección 10.5.4 y la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo.

**SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA
DE SENCICO SEDE CUSCO**



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

Anexo 2.4 – Tablas de propagación de ondas S (Vs)

Página 8 de 10

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s $N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3 —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4 —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5 —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6 —Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Tabla 8: Clasificación de los perfiles de suelo - NEC-SE-DS 2015 – ECUADOR

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE - NSR-10 - 2008

TIPOS DE PERFIL DE SUELO — Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la tabla 9. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A a E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios y la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo.

DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO — El procedimiento que se emplea para definir el tipo de perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil.

Tabla 9: Clasificación de los perfiles de suelo – NSR 10 – Colombia - 2008

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

D.S.-61-Diseño-Sísmico-de-Edificios-Noviembre-2011 – Chile (antes NCh 433)

Suelo Tipo		V_{s30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	(N_1) (golpes/pie)	S_u (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		$\geq 0,30$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	$\geq 0,05$
E	Suelo de compacidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Tabla 10: Clasificación sísmica del terreno de fundación según DS61 – Chile

N_1 : Índice de penetración estándar normalizado por presión de confinamiento de 0,1 MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas

RQD: Rock Quality Designation, según norma ASTM D 6032

q_u : Resistencia a la compresión simple del suelo

ϵ_{qu} : Deformación unitaria desarrollada cuando se alcanza la resistencia máxima en el ensayo de compresión simple

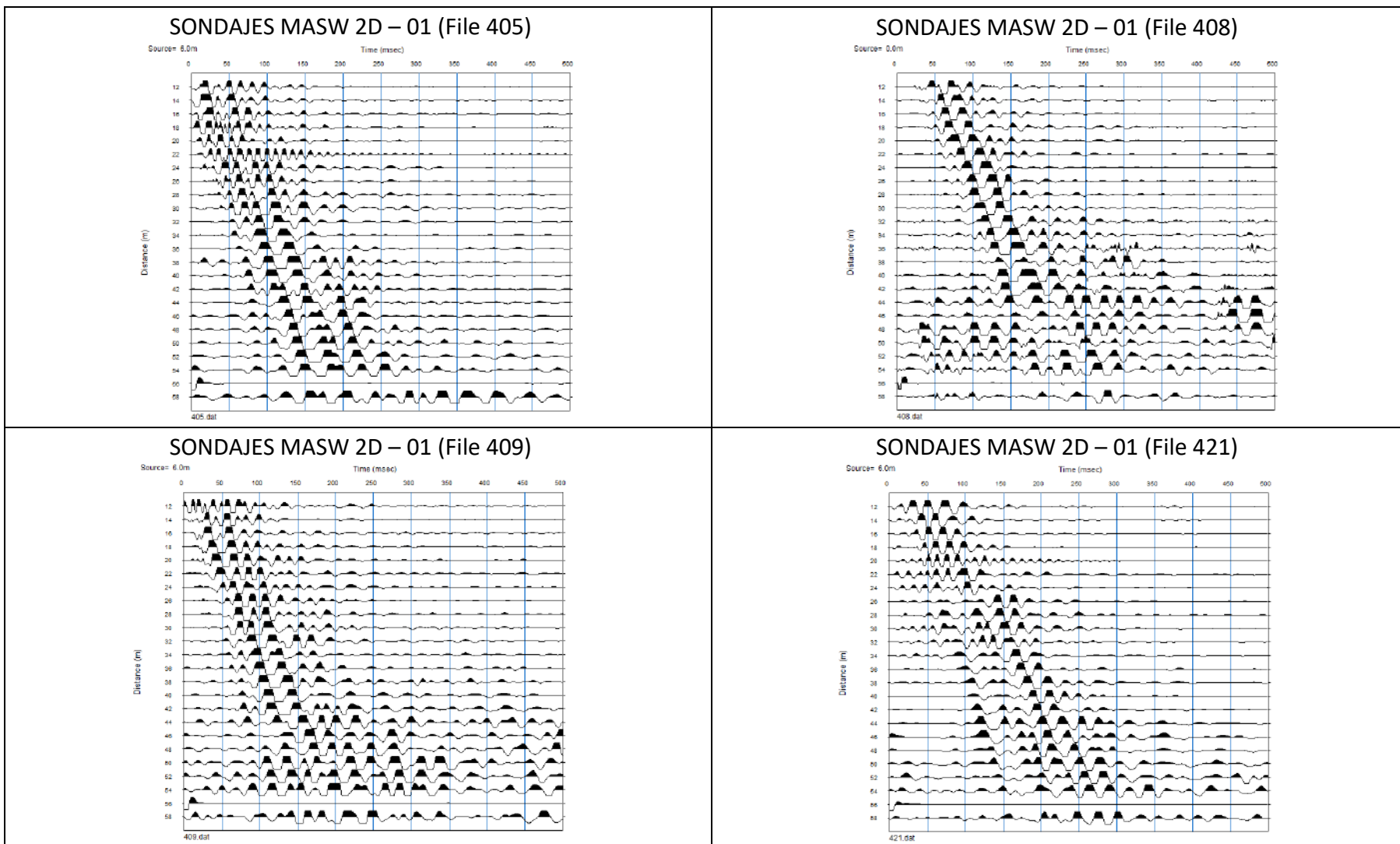
S_u : Resistencia al corte no-drenada del suelo

Anexo 3.0
Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW 2D

Anexo 3.1
Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes
MASW 2D



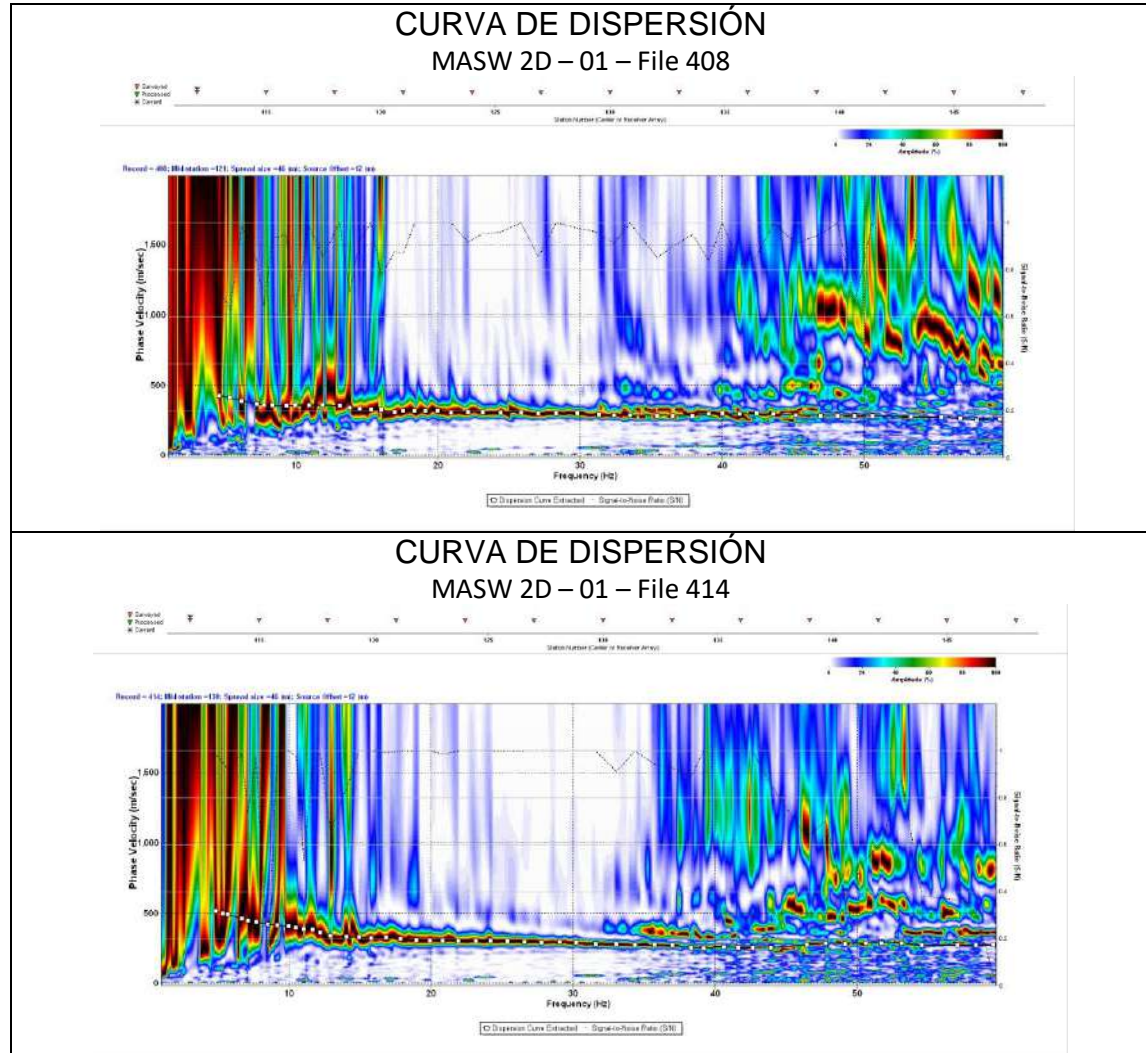
REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS – SONDAJES - MASW 2D – 01



Anexo 3.2
Curvas de Dispersión – Sondajes
MASW2D

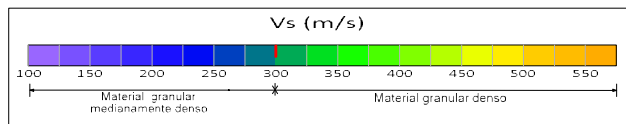
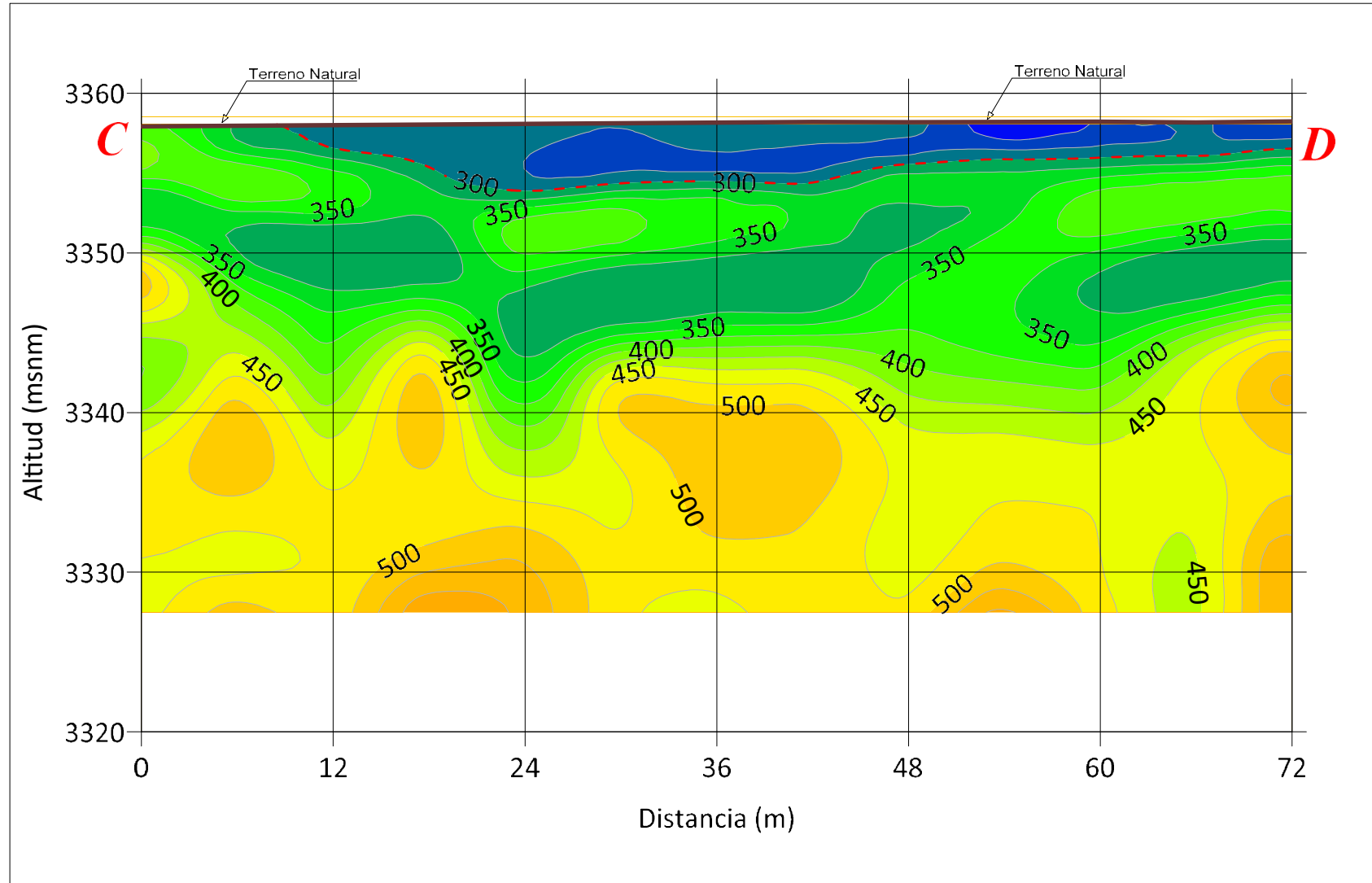


CURVAS DE DISPERSIÓN - SONDAJES MASW 2D-01



Anexo 3.3
Modelo Bidimensional de Ondas
de Corte – MASW 2D

PERFIL SÍSMICO MASW 2D - 01



LEYENDA	
	TERRENO
	CONTACTOS

Rev. N°	FECHA	LAMINA N°	PLANO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIB.	DIS.	REV.	APR.
A	02/12/2022	L-02	PERFIL	EMITIDO PARA REVISIÓN FINAL	P.Y	Y.P	Y.P	Y.P

ELABORADO POR:
ING. YRIS PARIPANCA

ENCARGADOS:
DIBUJADO POR: BACH. PERCY YAURI
DISEÑADO POR: ING. YRIS PARIPANCA
REVISADO POR: ING. YRIS PARIPANCA
APROBADO POR: ING. YRIS PARIPANCA

PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO
PAIS: PERU
REGIÓN: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: WANCHAQ

CLIENTE:

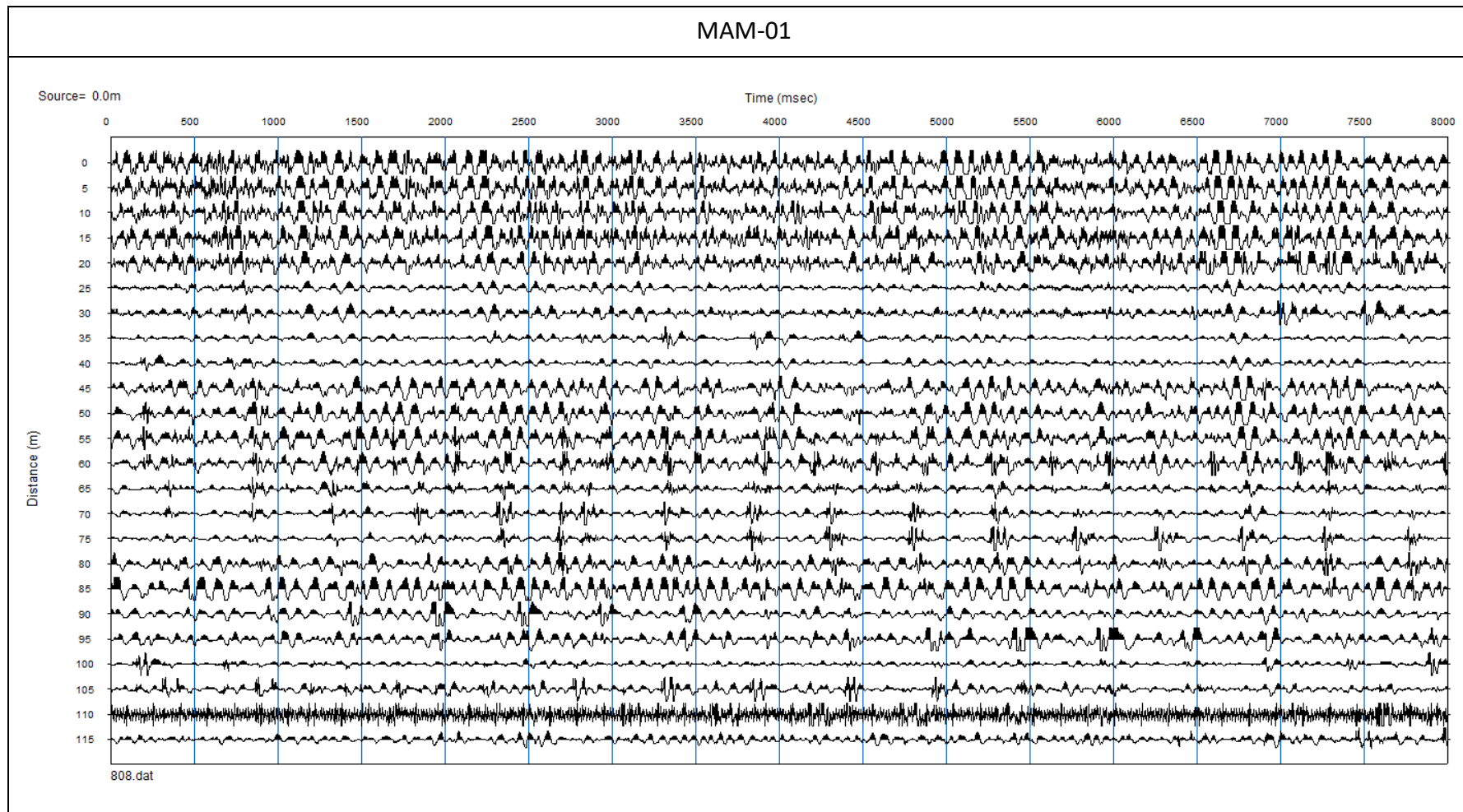
TÍTULO DEL PROYECTO	
SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN AGELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO	
TÍTULO DEL PLANO	
PERFIL SISMICO MASW 2D - 01	
ESCALA	INDICADA
TAMAÑO:	LAMINA
CODIGO DE PROYECTO 2211_SENCICO-CUSCO	A-3 I-02

Anexo 4.0
Ensayos Geofísicos - MAM

Anexo 4.1
Registros de Ondas Sísmicas
Sondajes MAM

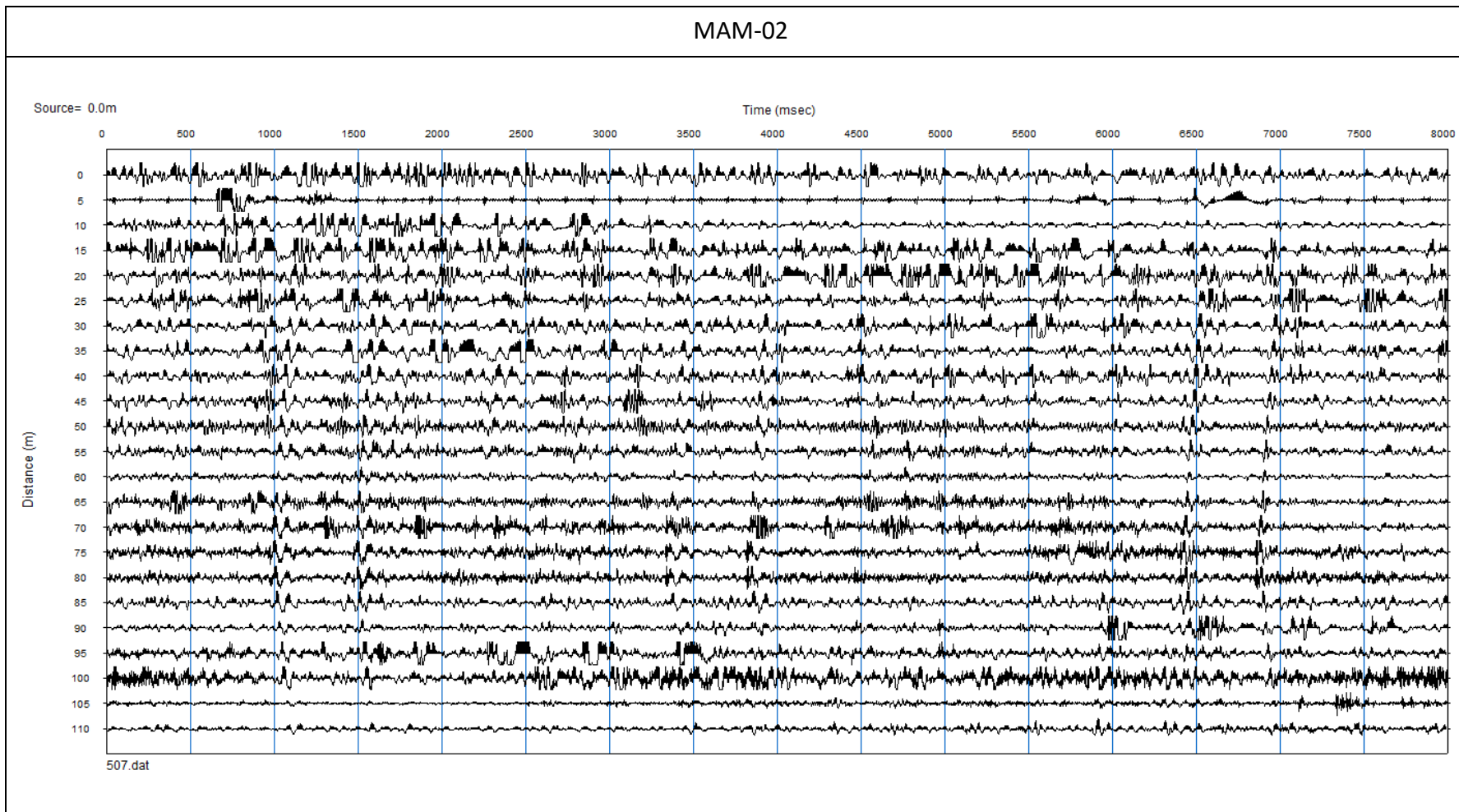


REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS – SONDAJES MAM





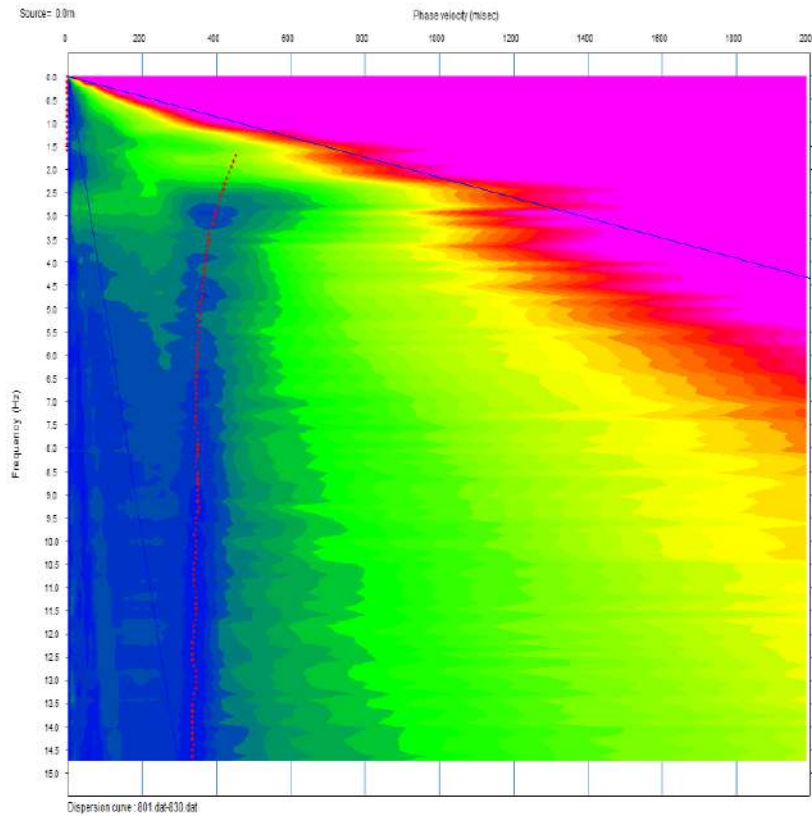
REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS – SONDAJES MAM



Anexo 4.2
Curva de Dispersión y Modelo
Unidimensional de Ondas de Corte
Sondajes MAM

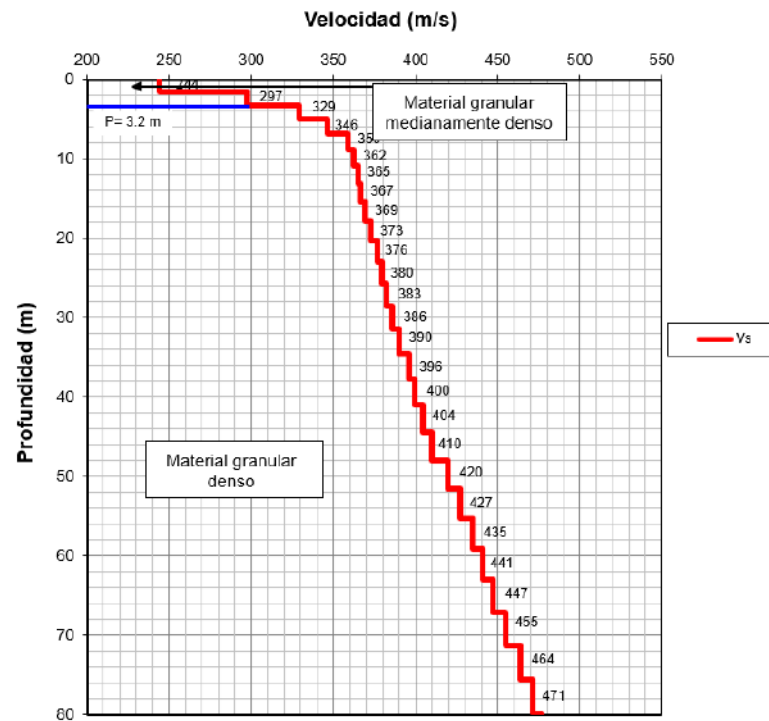
SONDAJE MAM-01/MASW-01

**CURVA DE DISPERSIÓN
MAM-01 / MASW-01**



**MODELO UNIDIMENSIONAL
MAM-01 / MASW-01**

**Fig. 01. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje MAM-01 / MASW-01**



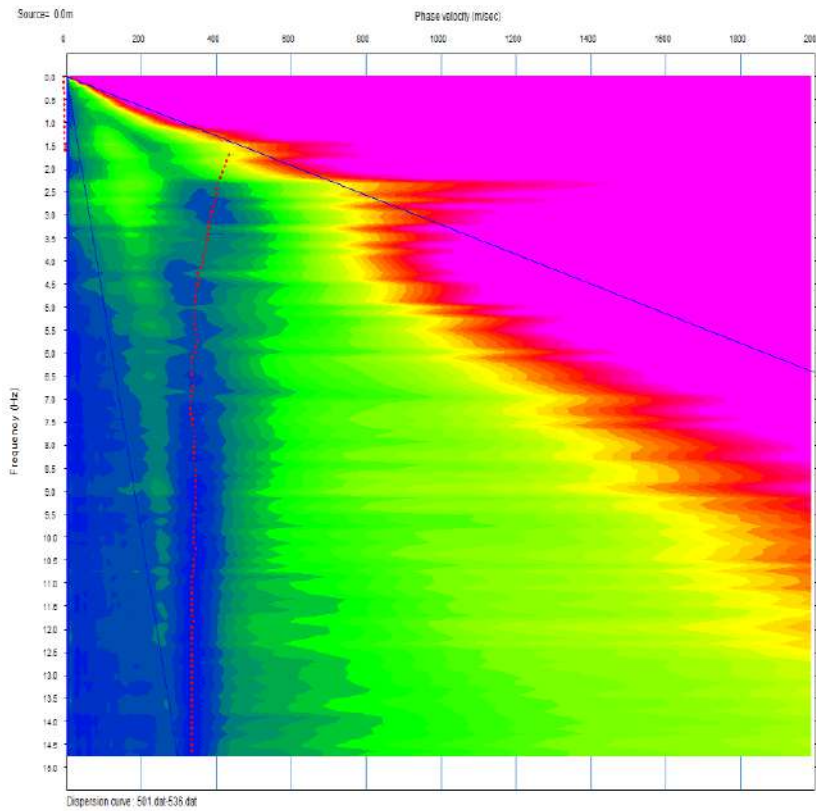
**CUADRO
RESUMEN**

Ondas de Corte	
Prof.	VS (m/seg)
1.5	244
3.2	297
4.9	329
6.8	346
8.8	359
10.9	362
13.0	365
15.3	367
17.8	369
20.3	373
22.9	376
25.6	380
28.5	383
31.5	386
34.5	390
37.7	396
41.0	400
44.4	404
47.9	410
51.5	420
55.2	427
59.1	435
63.0	441
67.1	447
71.2	455
75.5	464
80.0	471



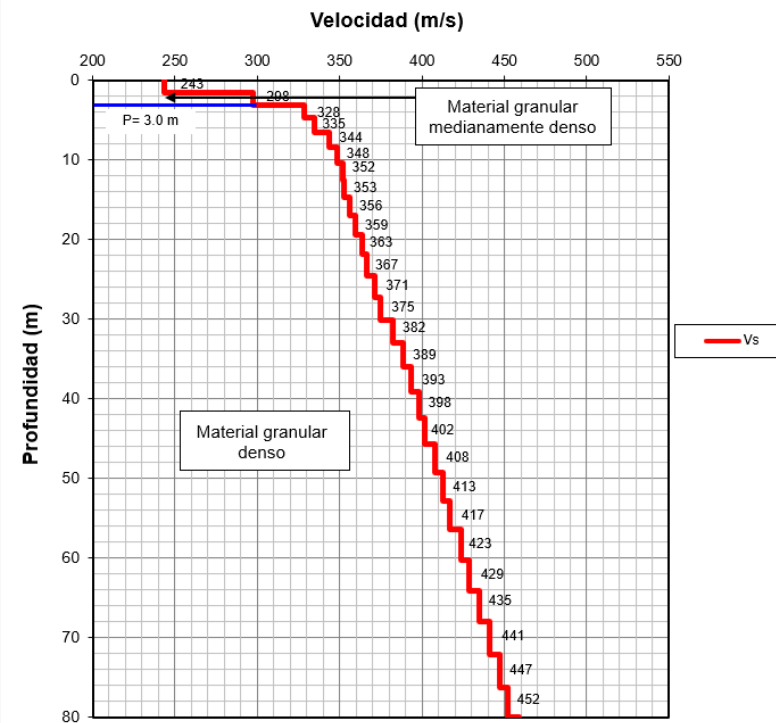
SONDAJE MAM-02 /MASW-02

**CURVA DE DISPERSIÓN
MAM-02 / MASW-02**



**MODELO UNIDIMENSIONAL
MAM-02 / MASW-02**

**Fig. 02. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje MAM-02 / MASW-02**



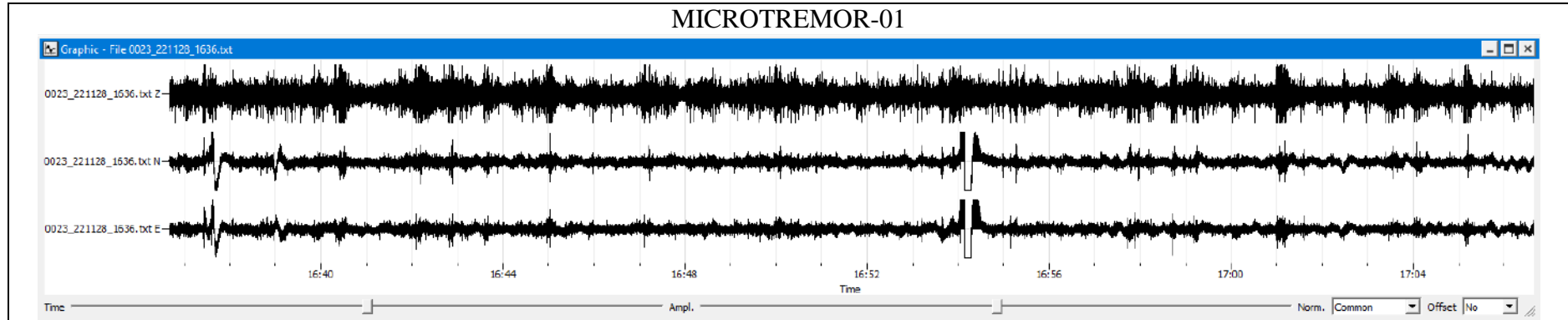
**CUADRO
RESUMEN**

Ondas de Corte	
Prof.	VS (m/seg)
1.5	243
3.0	298
4.7	328
6.5	335
8.4	344
10.4	348
12.5	352
14.7	353
17.0	356
19.4	359
21.9	363
24.5	367
27.2	371
30.0	375
33.0	382
36.0	389
39.2	393
42.4	398
45.7	402
49.2	408
52.8	413
56.4	417
60.2	423
64.1	429
68.0	435
72.1	441
76.3	447
80.0	452

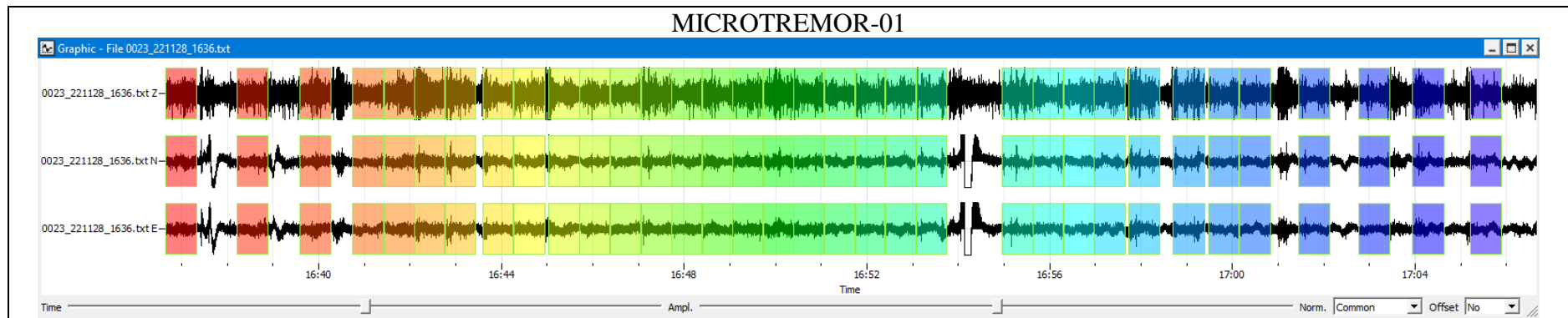
Anexo 5.0
Ensayos Geofísicos - MICROTREMOR

Anexo 5.1
Registros de Ondas Sísmicas
MICROTREMOR

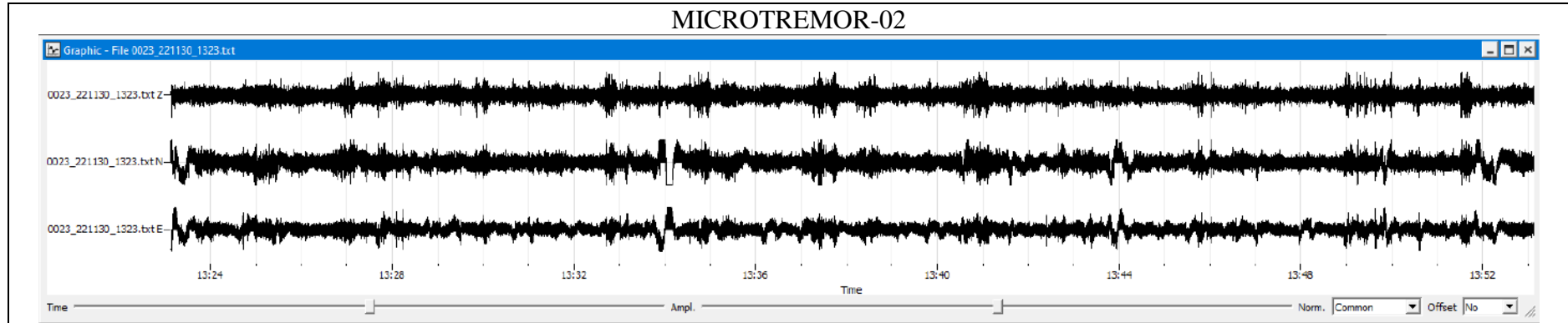
REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA ADQUIRIDO



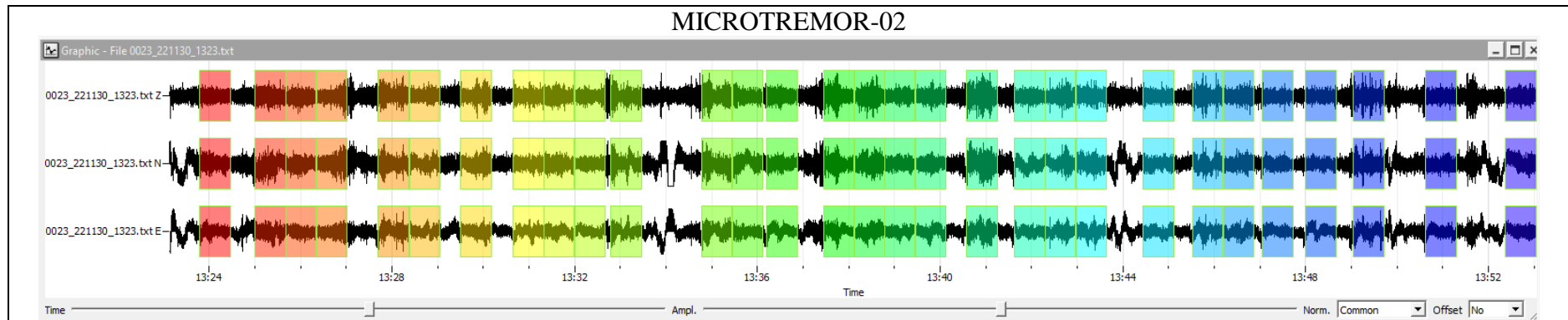
REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA PROCESADO



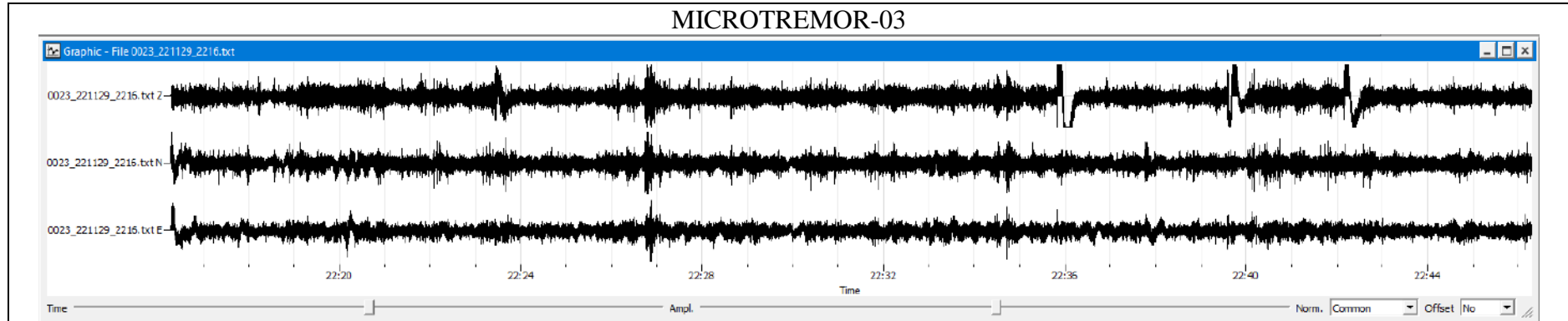
REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA ADQUIRIDO



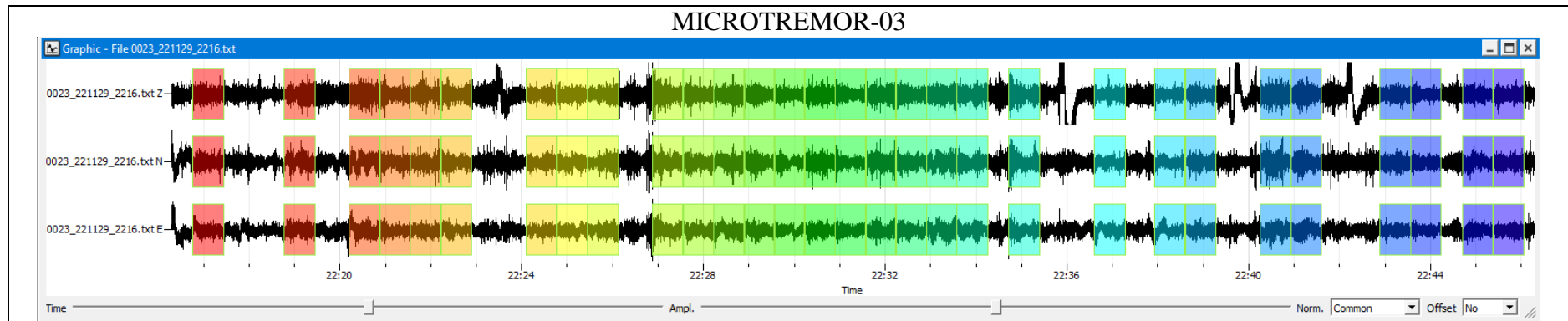
REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA PROCESADO



REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA ADQUIRIDO



REGISTROS DE ONDAS DE MICROTREMORES – SEGMENTO DE ONDA PROCESADO

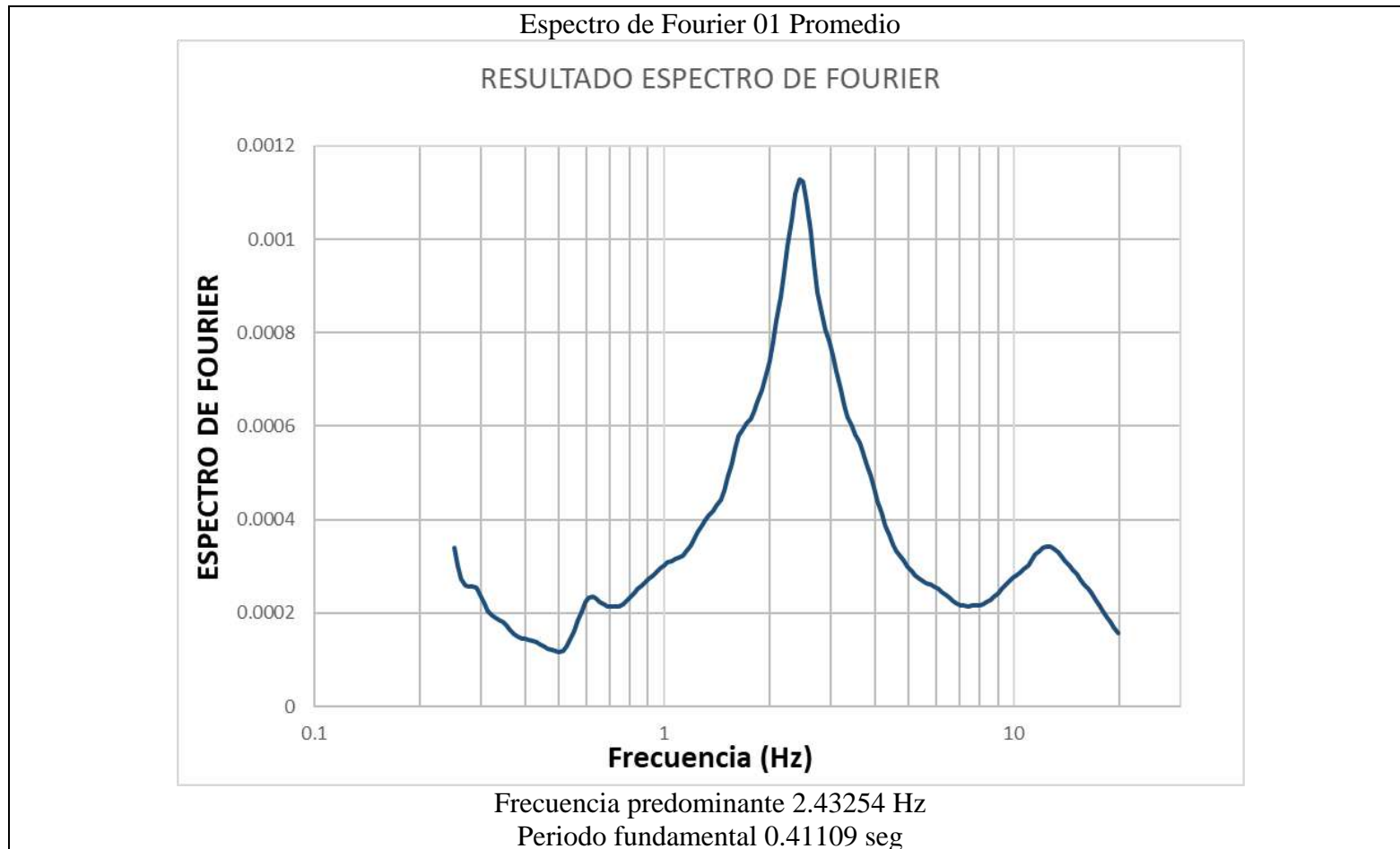


Anexo 5.2
Espectro de Fourier
MICROTREMOR



RESULTADO ESPECTRO DE FOURIER

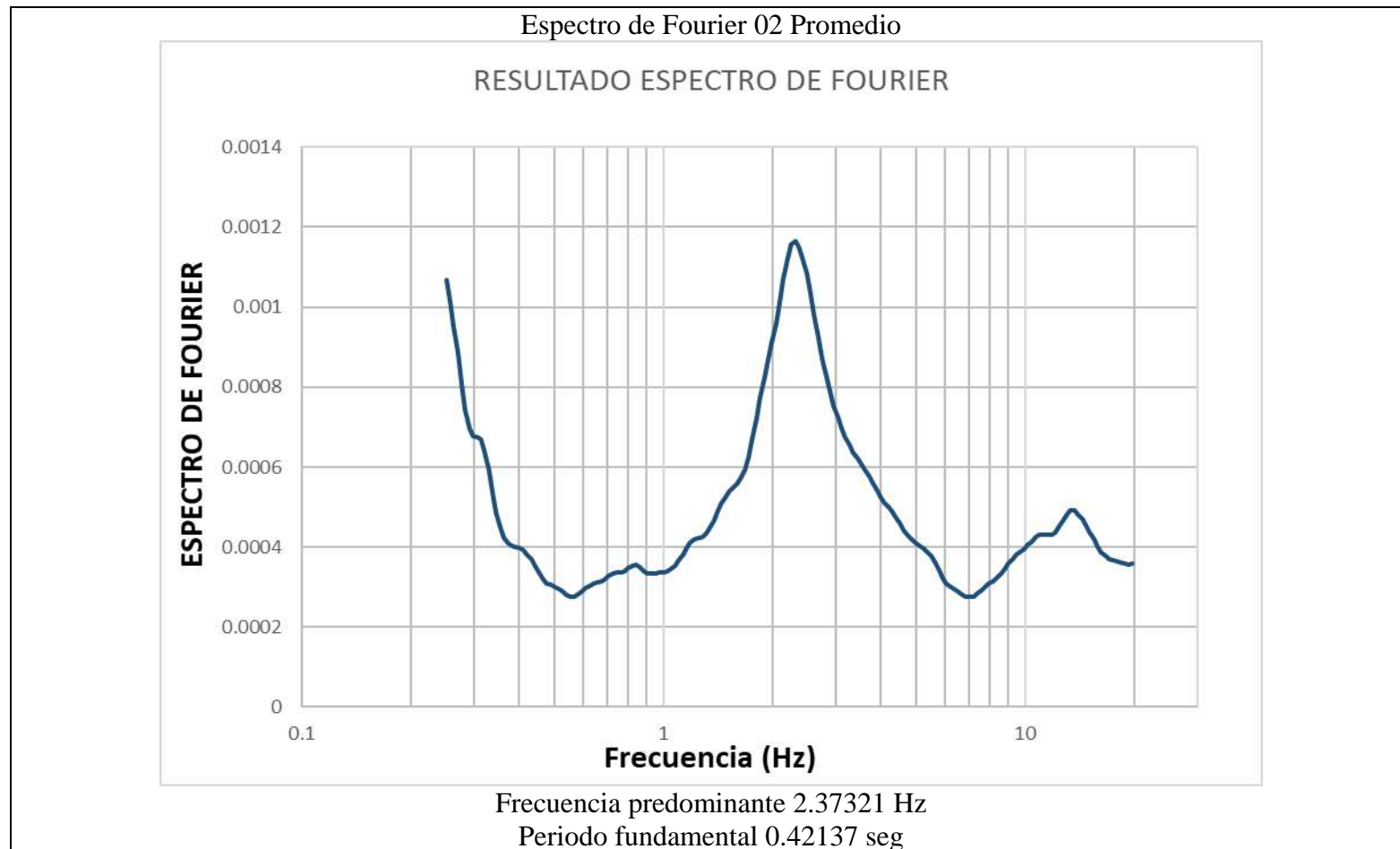
Punto 1





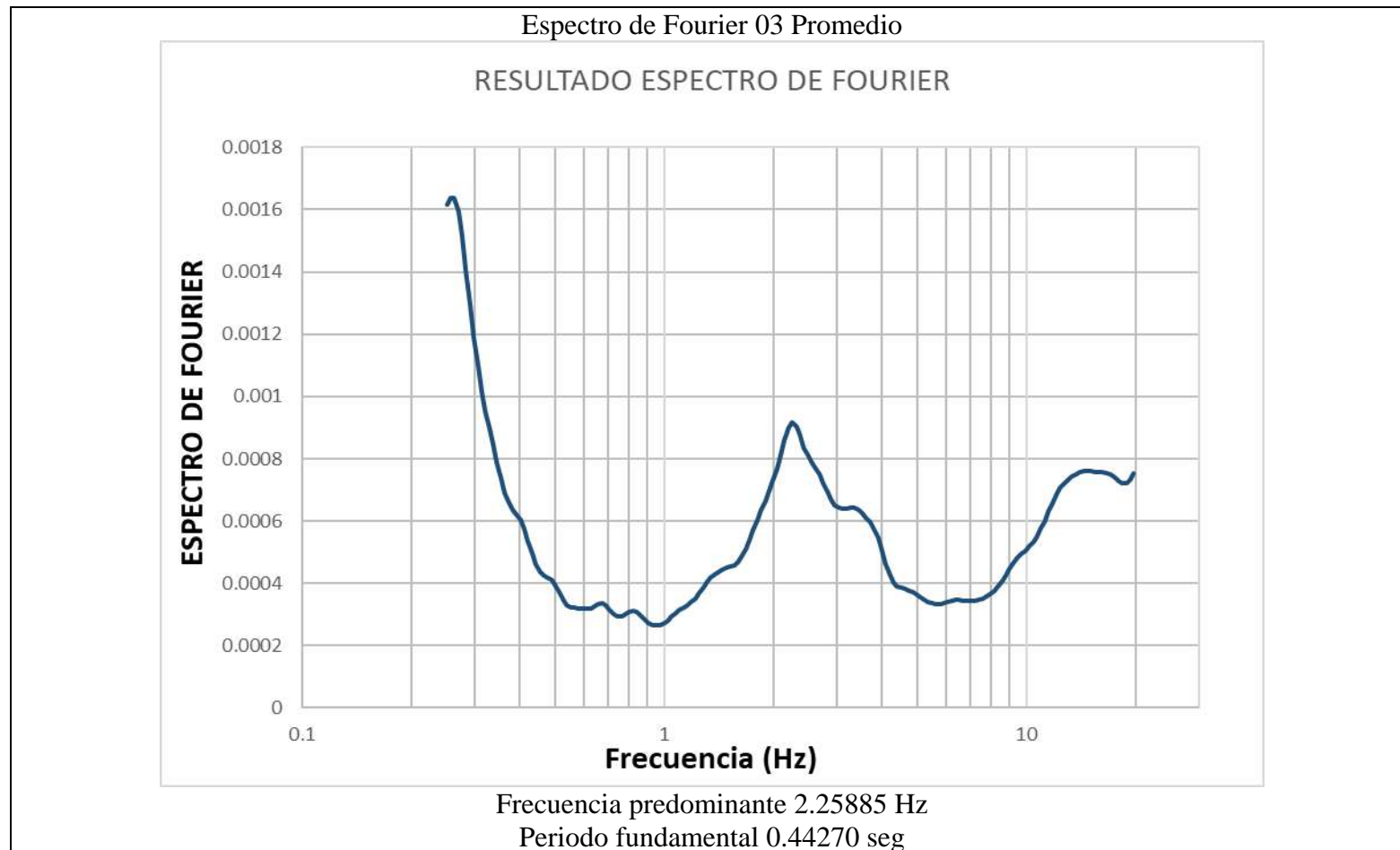
RESULTADO ESPECTRO DE FOURIER

Punto 2



RESULTADO ESPECTRO DE FOURIER

Punto 3



Anexo 6.0
Panel Fotográfico – Geofísica

Anexo 6.1
Fotografías – Geofísica
Refracción Sísmica

**GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA
LS-01**



FOTO 01: Personal geofísico ejecutando el impacto SHOT 02 para la línea LS-01.
ZONA: Sencico sede Cusco.



FOTO 02: Personal geofísico ejecutando el impacto SHOT 01 para la línea LS-01.
ZONA: Sencico sede Cusco.

Anexo 6.2
Fotografías – Geofísica
Sondajes MASW

SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO



Wanchaq, Cusco

Diciembre, 2022

Anexo 6.2 – Fotografías – Masw

Página 1 de 2

GEOFÍSICA – MASW-01



FOTO 01: Personal geofísico listo para ejecutar SHOT 02 del ensayo MASW-01.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 02: Personal geofísico ejecutando el SHOT 02 del ensayo MASW-01.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

ING. YRIS PARIPANCA GARCIA

Jr. Enrique Encinas Franco 139.Of. 201 - La Victoria – Cel.: +51 995377992

GEOFÍSICA – MASW-02

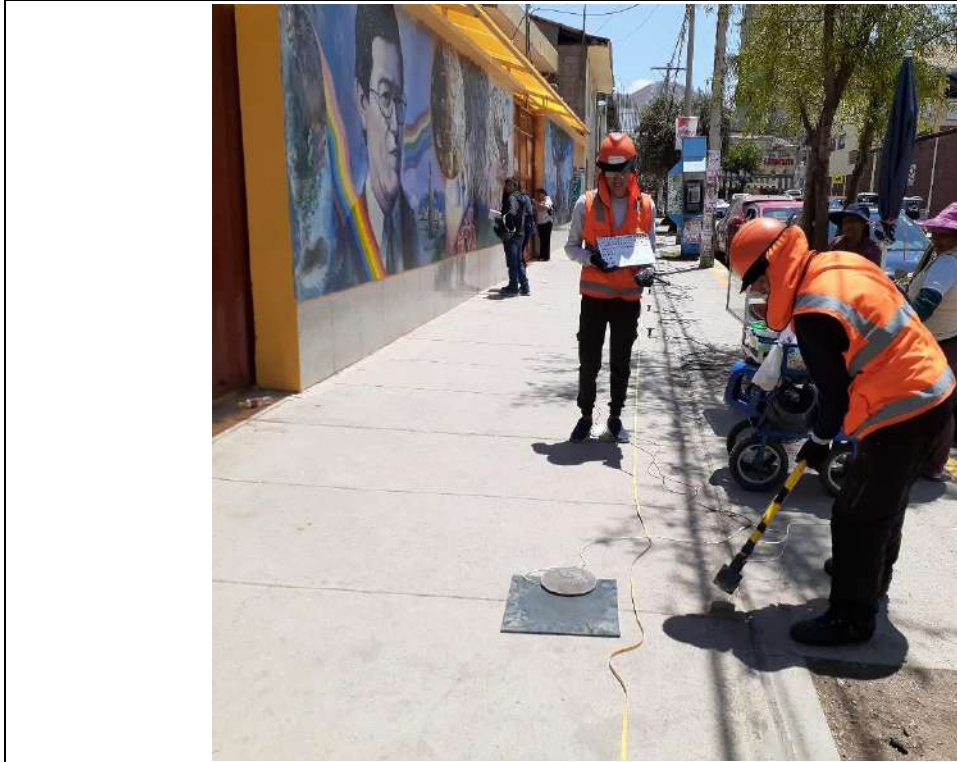


FOTO 03: Personal geofísico listo para ejecutar SHOT 02 del ensayo MASW-02.
ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 04: Personal geofísico ejecutando SHOT 02 del ensayo MASW-02
ZONA: Sencico – Sede Cusco.

Anexo 6.3
Fotografías – Geofísica
Sondajes MASW2D

GEOFÍSICA – MASW 2D-01



FOTO 01: Personal listo para ejecutar el SHOT 01 para el ensayo MASW 2D -01.
ZONA: Sencico – Sede Cusco.



Anexo 6.4
Fotografías – Geofísica
Sondajes MAM

GEOFÍSICA – MAM - 01

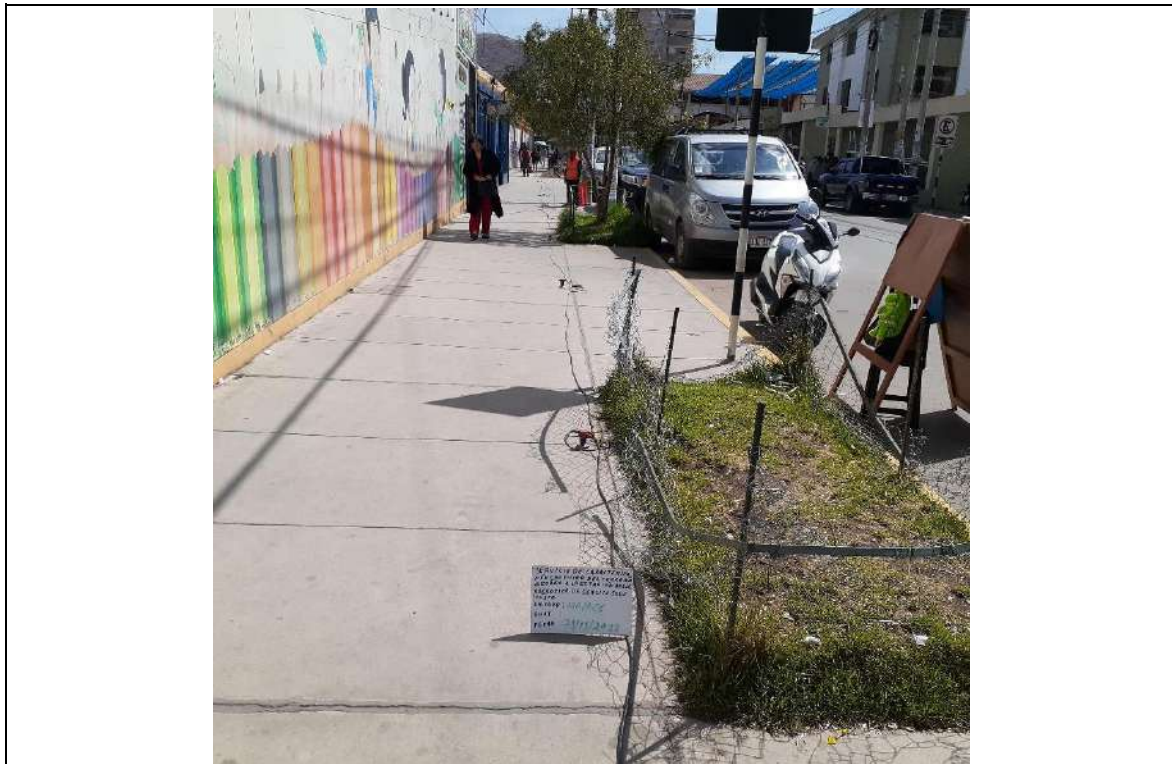


FOTO 01: Área donde se ejecutó el ensayo MAM-01.
ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 02: Personal coordinando el tendido del cable de refracción para el ensayo MAM-01.
ZONA: Sencico – Sede Cusco.

GEOFÍSICA – MAM - 02

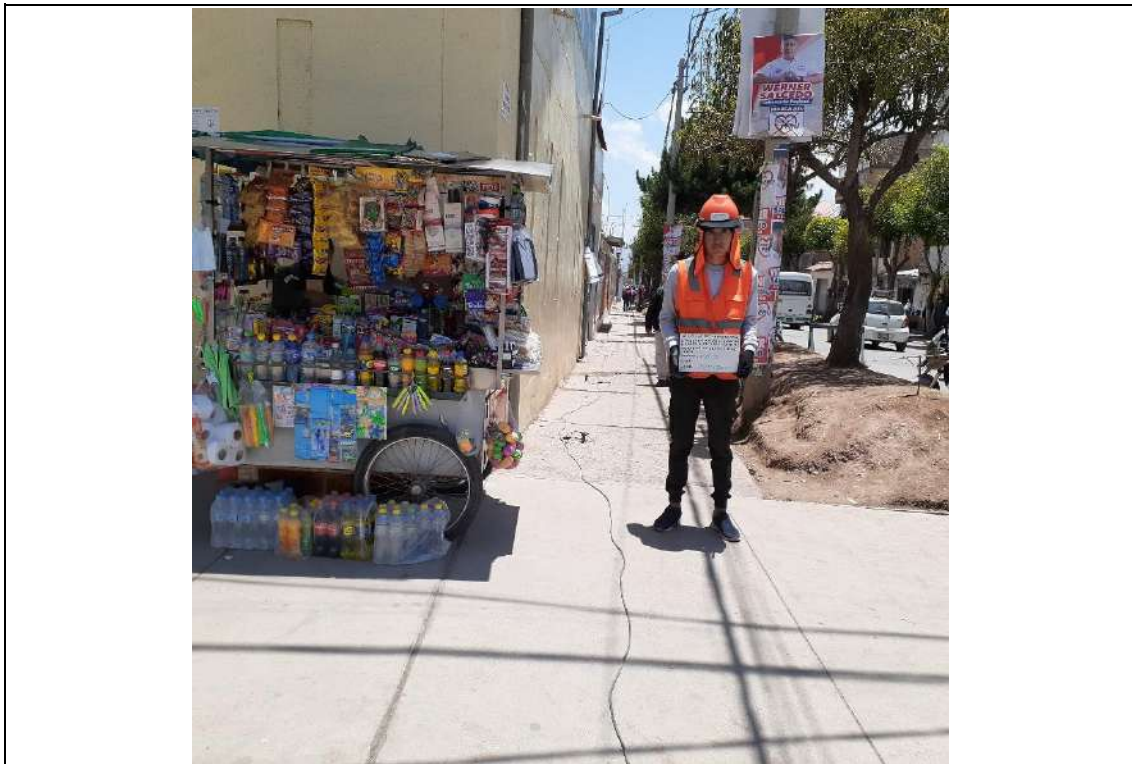


FOTO 03: Área donde se ejecutó el ensayo MAM-02.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 04: Adquisición de datos para el ensayo MAM-02.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

Anexo 6.5
Fotografías – Geofísica
MICROTREMOR

GEOFÍSICA –MICROTREMOR – MIC-01



FOTO 01: Adquisición de datos correspondiente al ensayo MIC-01.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 02: Área sobre el que se ejecutó el ensayo de microtremor MIC-01.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

GEOFÍSICA – MICROTREMOR – MIC-02



FOTO 03: Adquisición de datos para el ensayo MIC-02.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.



FOTO 04: Vista del área de trabajo para el ensayo MIC-02.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

GEOFÍSICA – MICROTREMOR – MIC-03



FOTO 05: Adquisición de datos para el ensayo MIC-03.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

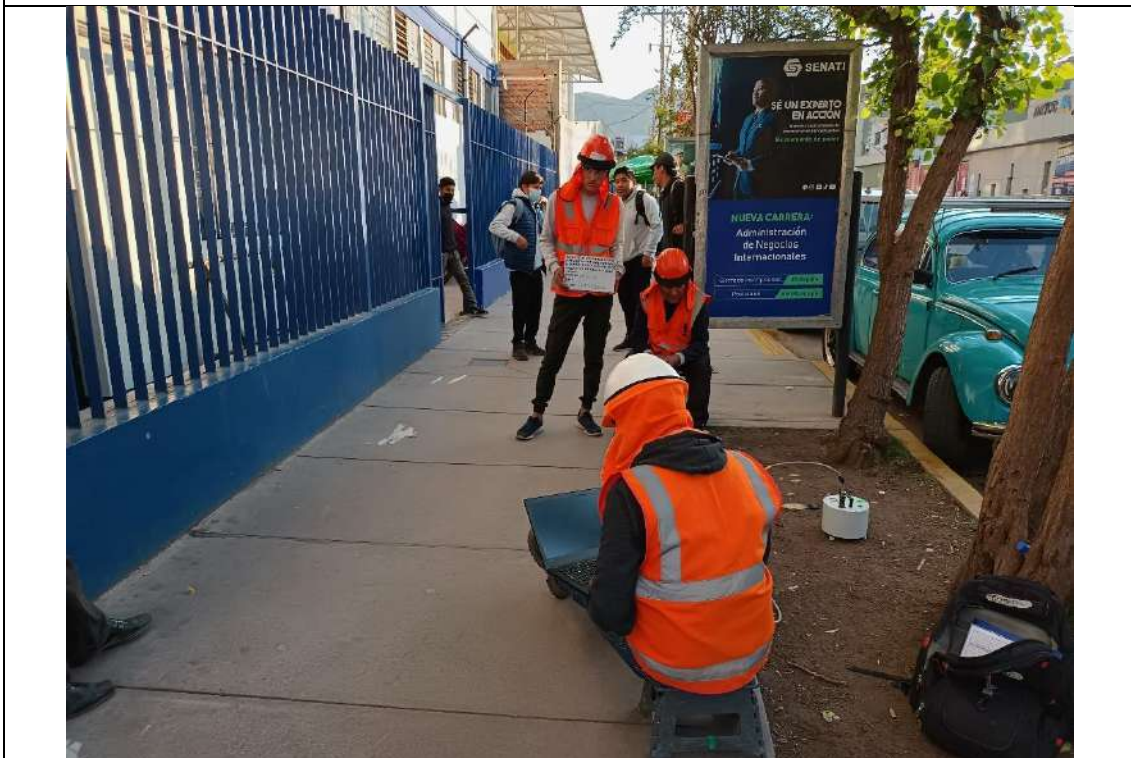


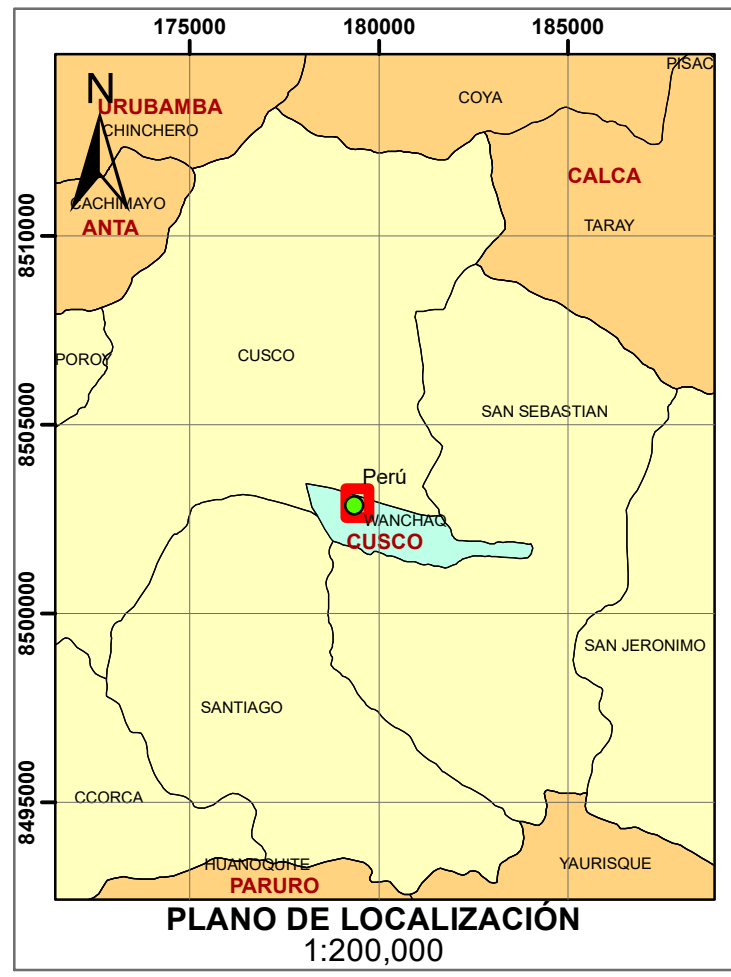
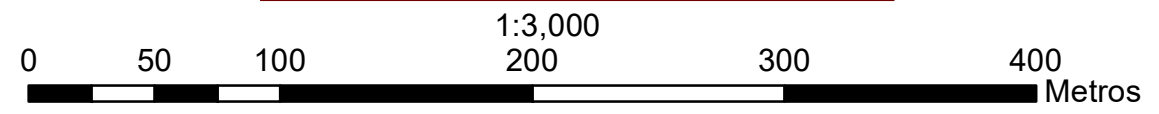
FOTO 03: Área sobre el que se ejecutó el ensayo MIC-03.

ZONA: Sencico – Sede Cusco.

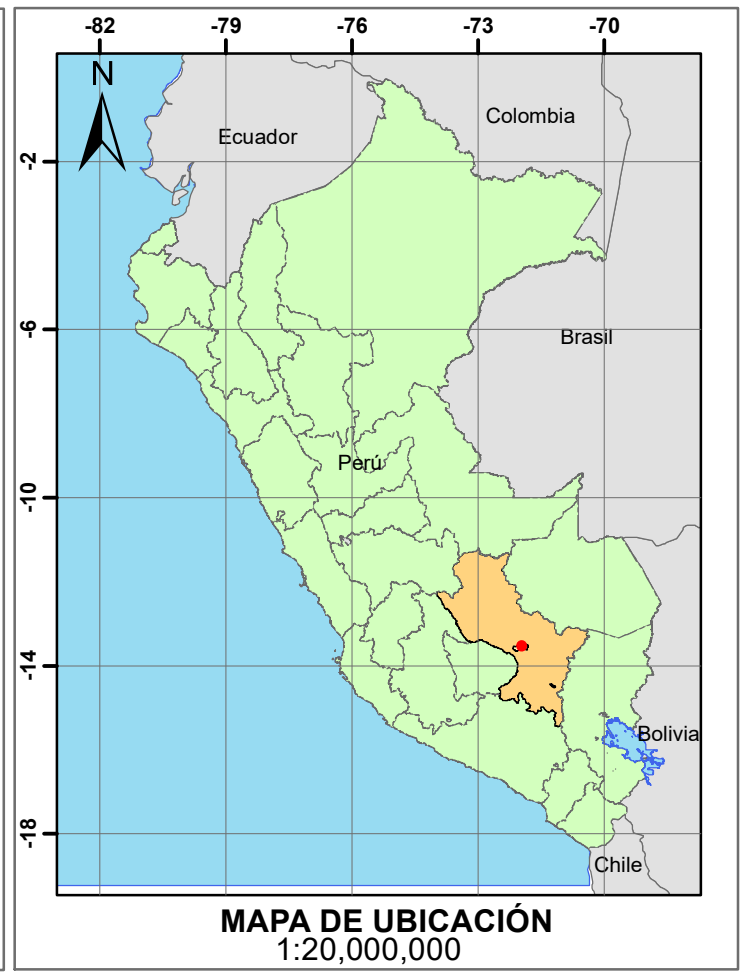
Planos



PLANO DE UBICACIÓN



PLANO DE LOCALIZACIÓN
1:200,000



MAPA DE UBICACIÓN
1:20,000,000



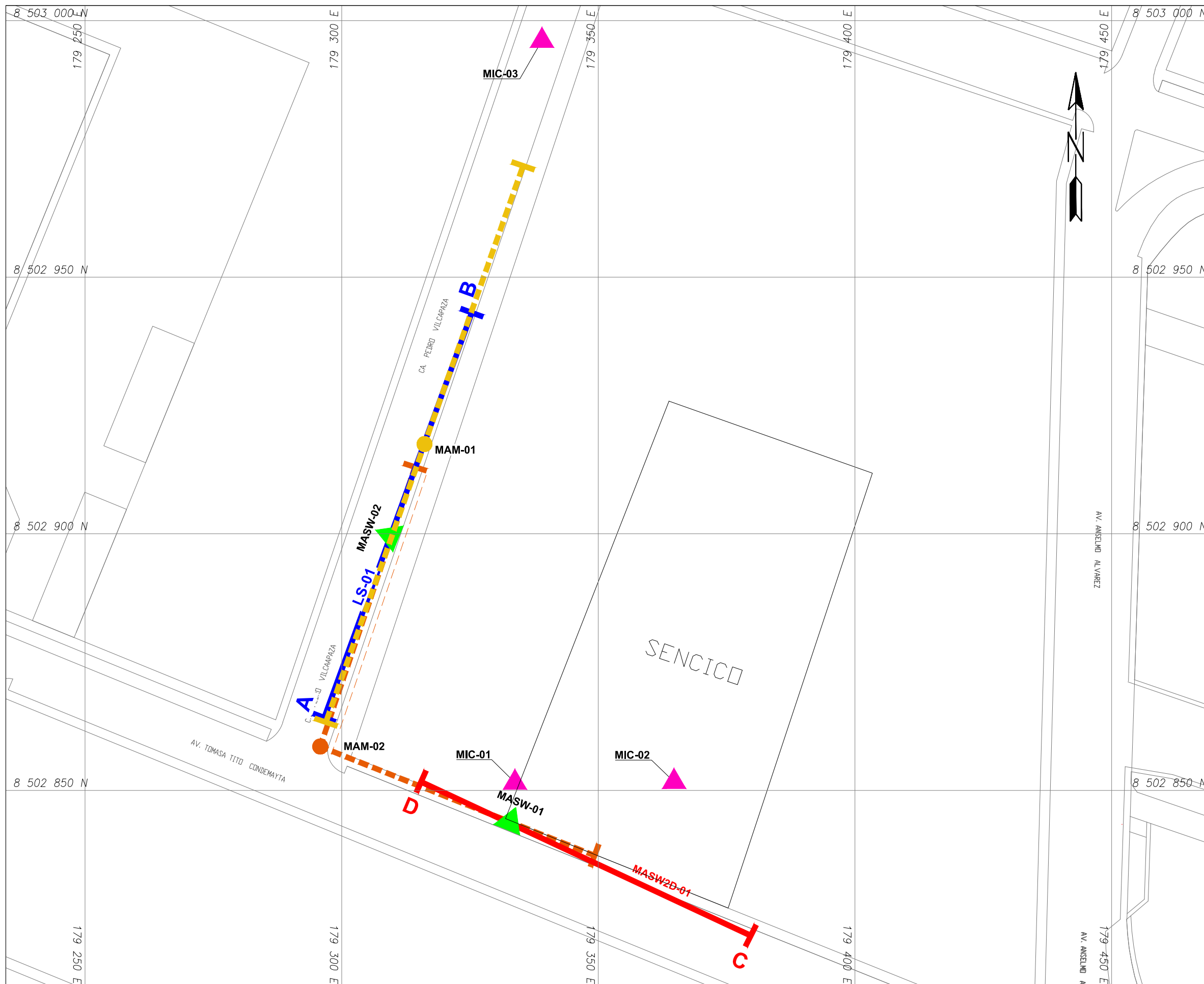
FOTO REFERENCIAL



ZONA DE TRABAJO SENCICO - CUSCO

PREPARADO POR: ING. YRIS PARIPANCA		
CLIENTE:		
TÍTULO DEL PROYECTO: SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO ALEDAÑO A LA ESTACION ACELEROGRAFICA DE SENCICO SEDE CUSCO		
TÍTULO DEL PLANO: UBICACIÓN DEL PROYECTO		
UBICACION:	PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO PAIS: PERÚ DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: WANCHAQ	
ENCARGADOS:	APROBACIÓN: ING. YRIS PARIPANCA DISEÑO: ING. YRIS PARIPANCA. DIBUJO: BACH. ANDRE MORALES	
Sistema de coordenadas proyectadas Datum: WGS 1984 UTM Zone 19S		
FUENTE: Cartas Nacionales 1/100000 - IGN y Google Earth		
FECHA: 01/12/22	ESCALA : INDICADA	MAPAN° P - 01

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community



LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA EJECUTADA
TABLA N° 01

LÍNEA	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA(m)	
LS-01	INICIO	A	179296.62	8502864.77	3358.51
	FINAL	B	179325.36	8502943.08	3358.76

ENSAYOS MASW EJECUTADOS
TABLA N° 02

ENSAYO	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA(m)
MASW-01	CENTRO	179332.41	8502844.05	3358.12
MASW-02	CENTRO	179309.31	8502899.80	3358.62

LÍNEA DE MASW 2D EJECUTADA
TABLA N° 03

LÍNEA	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA(m)	
MASW2D-01	INICIO	C	179379.70	8502821.82	3357.92
	FINAL	D	179315.42	8502851.71	3358.40

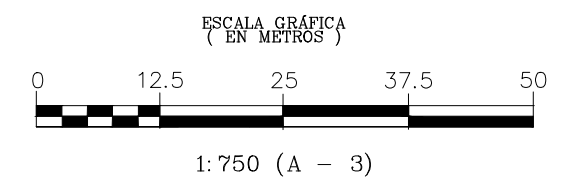
ENSAYOS MAM EJECUTADOS
TABLA N° 04

ENSAYO	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA(m)
MAM-01	CENTRO	179316.14	8502917.49	3358.70
MAM-02	CENTRO	179295.83	8502858.56	3358.49

ENSAYOS DE MICROTREMOR EJECUTADOS
TABLA N° 05

CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MIC-01	179333.93	8502851.49	3358.28
MIC-02	179365.02	8502851.64	3358.26
MIC-03	179339.23	8502996.51	3358.96

LEYENDA	
LS	REFRACCIÓN SÍSMICA EJECUTADA (GEORYS INGENIEROS)
	MASW EJECUTADOS (GEORYS INGENIEROS)
	MASW 2D EJECUTADO (GEORYS INGENIEROS)
	MAM-01 EJECUTADO (GEORYS INGENIEROS)
	MAM-02 EJECUTADO (GEORYS INGENIEROS)
	MICROTREMOR EJECUTADOS (GEORYS INGENIEROS)



REV. N°	FECHA	PLANO N°	PLANOS DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIB.	DIS.	REV.	APR.
1	05/12/2022	P-02	PLANO DE UBICACIÓN	EMITIDO PARA INFORME FINAL	A.M	Y.P	Y.P	Y.P

ELABORADO POR:
ING YRIS PARIPANCA

DIBUJADO POR: BACH. A. MORALES
 DISEÑADO POR: ING. Y. PARIPANCA
 REVISADO POR: ING. Y. PARIPANCA
 APROBADO POR: ING. Y. PARIPANCA

NOTA:
DATUM - WGS84 Z 19 S

PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO
 PAÍS: PERÚ
 DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: CUSCO
 DISTRITO: WANCHAQ



TÍTULO DEL PROYECTO:
SERVICIO DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL TERRENO
ALEDAÑO A LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DE SENCICO SEDE CUSCO

TÍTULO DEL PLANO:
PLANO DE UBICACIÓN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS

ESCALA: INDICADA
 CÓDIGO DEL PROYECTO: 2211_SENCICO-CUSCO

PLANO: P-02