

INFORME FINAL

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PARA EL PROYECTO:

“EDIFICIO MULTIFAMILIAR MALECÓN 120”



Ubicación : Calle 3, N°104-120 (esquina con Av. del Malecón Urb. Salaverry)
Distrito de Magdalena del Mar, Provincia y Departamento de Lima

Solicitado por:



PROYECTOS INMOBILIARIOS SALAVERRY SAC

Elaborado por:



JORGE E. ALVA HURTADO INGENIEROS S.A.C.
CONSULTOR EN INGENIERIA GEOTECNICA

Marzo, 2020

Contenido

ÍNDICE DE CUADROS	2
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	3
1.0.0 GENERALIDADES.....	4
1.1.0 Antecedentes	4
1.2.0 Objetivos	4
1.3.0 Metodología.....	4
1.4.0 Ubicación	4
1.5.0 Normatividad	5
2.0.0 INFORMACIÓN RECOPIADA	5
2.1.0 Informe CISMID (2017)	5
2.2.0 Informe GEOCIM (2018).....	5
2.3.0 Informe CIP CD LIMA (2019)	6
2.4.0 Informe IGP (2020).....	6
3.0.0 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	6
3.1.0 Trabajos de Campo	7
3.2.0 Puntos de Control	7
3.3.0 Trabajo de Gabinete	7
3.3.1 Edición de TIN	8
3.3.2. Procesamiento de Curvas de Nivel.	8
4.0.0 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA	9
4.1.0 Calicatas de Exploración	9
5.0.0 ENSAYO DE LABORATORIO	9
5.1.0 Ensayos Estándar	9
6.0.0 INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA.....	10
6.1.0 Prospección Geofísica	10
6.1.1 Método de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW).....	10
6.1.2 Método de Arreglo Multicanal de Microtremor (MAM)	11
6.1.3 Microtremor.....	11
6.2.0 Valores Típicos de Ondas de Propagación	12
6.3.0 Equipo y Software	13
6.4.0 Trabajos de Campo	15
6.5.0 Resultados de Ensayos Geofísicos	16

6.5.1 Sondajes MASW	17
6.5.2 Sondaje MAM	17
6.5.2 Microtremor.....	17
6.5.0 Caracterización del Perfil del Suelo	19
7.0.0 SISMICIDAD Y PARAMETROS SISMICOS DEL SITIO	20
8.0.0 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	20
8.1.0 Consideraciones Generales	20
8.2.0 Características Geométricas	20
8.3.0 Parámetros Geotécnicos	21
8.4.0 Análisis Pseudoestático	22
8.5.0 Factores de Seguridad.....	22
8.6.0 Resultados del Análisis de Estabilidad	22
9.0.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
REFERENCIAS.....	25

PLANOS

MAPAS

ANEXOS

ANEXO I:	REGISTRO DE SONDAJES
ANEXO II:	RESULTADOS DE LABORATORIO
ANEXO III:	RESULTADOS DE ENSAYOS GEOFÍSICOS
ANEXO IV:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
ANEXO V:	PANEL FOTOGRÁFICO

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Coordenadas Globales de Estaciones.....	7
Cuadro N° 2. Resumen del Resultados de Ensayos Estándar	10
Cuadro N° 3. Resumen de los Sondajes MASW.....	16
Cuadro N° 4. Resumen del Sondaje MAM.....	16
Cuadro N° 5. Resultado de los Sondajes MASW.....	17
Cuadro N° 6. Resultado del Sondaje MAM.....	17
Cuadro N° 7. Periodo Fundamental del Suelo y Amplitud del Movimiento	17
Cuadro N° 8. Velocidades Vs30 y Clasificación de Sitio.....	20
Cuadro N° 9. Parámetros Geotécnicos.....	21
Cuadro N° 10. Factores de Seguridad de la Estabilidad del borde del Talud.....	22
Cuadro N° 11. Factores de Seguridad de la Estabilidad del Edificio.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [Arce, 1990]	12
Tabla N° 2. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [ASTM D 5777 - 95].....	13
Tabla N° 3. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [Martínez, 1990]	13
Tabla N° 4. Velocidades de Ondas de Corte [CISMID, 1991]	13
Tabla N° 5. Clasificación del perfil de suelo, según E.030 (2018).....	18
Tabla N° 6. Clasificación de Sitio, según IBC (2015).....	18

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1. Vista del Área de Estudio (fuente: Google Earth)	4
Imagen N° 2. Estructura TIN, representación de la superficie.....	8
Imagen N° 3. Ejemplo de Perfil Unidimensional de velocidades de ondas S - Método MASW.....	10
Imagen N° 4. Esquema representativo de la Técnica del Método MASW.....	11
Imagen N° 5. Esquema representativo de la Técnica del Método MAM.....	11
Imagen N° 6. Unidad Minimate Pro6 y sus Geófonos Triaxiales.....	14
Imagen N° 7. Cociente Espectral HV Medidos	17
Imagen N° 8. Cociente Espectral HV cercana al Área de Estudio (CISMID, 2016).....	18
Imagen N° 9. Vista de la Sección B-B para Análisis de Estabilidad.....	20

1.0.0 GENERALIDADES

1.1.0 Antecedentes

La empresa Desarrolladora del Pacífico SAC (**DP**) viene construyendo el proyecto Edificio Multifamiliar Malecón 120, el cual estará conformado por un edificio de 10 pisos, 3 sótanos y azotea. En la actualidad el solicitante requiere conocer si la presencia del edificio contribuirá a la inestabilidad del talud de su cercanía. Para ello la empresa **DP** ha solicitado el servicio a la Empresa Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros SAC (**JAH**) para realizar el “Análisis de Estabilidad de Taludes y Levantamiento Topográfico para el Proyecto Edificio Multifamiliar Malecón 120”.

1.2.0 Objetivos

Se requiere conocer la estabilidad de los taludes adyacentes a la construcción del Proyecto Edificio Multifamiliar Malecón 120.

1.3.0 Metodología

El estudio se desarrolló siguiendo un trabajo planificado, para lo cual se ha visto por conveniente programar las siguientes actividades:

- Recopilación y revisión de la información existente.
- Revisión de la información geotécnica del área de estudio.
- Realizar el levantamiento topográfico.
- Investigaciones Geotécnicas (calicatas) y Geofísicas (sondajes MASW, MAM y Microtremor).
- Análisis de estabilidad de Taludes
- Conclusiones y recomendaciones.

1.4.0 Ubicación

La zona de estudio está ubicado en la Calle 3, N° 104 – 120 (esquina con Av. del Malecón), urbanización Salaverry, distrito de Magdalena del Mar, provincia y departamento de Lima. En la Imagen N°1 se muestra vista general de la ubicación del área de estudio.



Imagen N° 1. Vista del Área de Estudio (fuente: Google Earth)

1.5.0 Normatividad

El estudio se realizó dentro del marco estipulado por el RNE, E-050, 2018 (Suelos y Cimentaciones), E-030, 2016 (Diseño Sismoresistente) la literatura técnica concerniente y la práctica cotidiana de la Ingeniería Geotécnica- Sísmica.

Se ejecutaron métodos directos (calicatas de exploración) e indirectos (Método de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie – MASW, MAM y Microtremores), así como un reconocimiento geotécnico de zonas adyacentes, para definir el rango de variación de los parámetros mecánicos resistentes en profundidad según los procedimientos normales de la Ingeniería Geotécnica.

2.0.0 INFORMACIÓN RECOPIADA

La información geotécnica disponible en el área de estudio corresponde al estudio de Microzonificación Sísmica realizada por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la UNI (CISMID, 2017), el informe de Mecánica de Suelos realizado por GEOCIM (2018) y el informe del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP CD LIMA, 2019) cuya descripción breve se detalla en los siguientes apartados.

2.1.0 Informe CISMID (2017)

Un estudio de Microzonificación Sísmica en el distrito de Magdalena de Mar realizó el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). En dicho estudio realizaron la Evaluación Geológica, Evaluación del Peligro Sísmico, Caracterización Geotécnica y Dinámica de los Suelos. La Evaluación Geológica, en el apartado de Peligros Geológicos, menciona que puede ocurrir desprendimiento de suelos en las zonas de taludes de fuerte pendiente, presencia de estratos de arena que al humedecerse con las brisas marinas pierden cohesión y reducción su ángulo de fricción, flujos de agua no controlados por filtración de rotura de sistema de agua y desagüe, entre otros. La evaluación del Peligro Sísmico da como resultado (para una Clase de Sitio C) que la aceleración máxima horizontal es 0.48 g, con 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de retorno de 475 años. La Caracterización Geotécnica muestra que el suelo está conformado como: superficialmente un relleno, en algunas zonas subyace arcilla arenosa de 1.0 m de espesor, por debajo se tiene la presencia grava pobremente gradada con $TM=15$ ". La Caracterización Dinámica de suelos, muestra como resultado que el periodo fundamental del suelo tiene valores menores a 0.2 s.

2.2.0 Informe GEOCIM (2018)

En este estudio de realizaron cuatro calicatas de exploración hasta la profundidad de 15.0m. Para luego establecer la estratigrafía del terreno de la siguiente manera: superficialmente está conformado por un relleno variable de 1.2 m a 1.4 m de profundidad, subyaciendo la grava arenosa pobremente gradada (GP) no plástica, de partículas sub-redondeadas, humedad, de compacidad de medianamente densa a densa con un $TM = 20$ ". Hasta la profundidad de exploración no se encontró la presencia del nivel freático. Además, establecieron los parámetros de cimentación y parámetros para las estructuras de sostenimiento.

2.3.0 Informe CIP CD LIMA (2019)

El Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de Lima a través del Directorio del Centro de Peritaje emitieron un Informe Técnico de la Inspección Visual y Evaluación de Daños en los alrededores del Proyecto Inmobiliaria Salaverry SAC. En este informe, se menciona que realizaron una inspección visual del estado actual del pavimento en los alrededores de dicho proyecto, por donde circulan los camiones que eliminan el material excedente de la excavación. Así mismo, verificaron que la construcción de los muros pantalla no presenta impacto a las edificaciones de los alrededores.

2.4.0 Informe IGP (2020)

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) realizó un conjunto de ensayos geofísicos en el distrito de Magdalena del Mar. Los ensayos consistieron en medición de Microtremor (123 puntos), Refracción Sísmica (3 sondajes), Análisis Multicanal de Ondas Superficiales - MASW y Análisis Multicanal de Microtremor - MAM (haciendo un total de 7 sondajes), Resistividad Eléctrica (5 sondajes) y Gravimetría (30 sondajes). Con los resultados de los ensayos geofísicos establecieron tres sectores. El Sector I, considera el acantilado y una parte plana que presenta un periodo de vibración de 0.1 s y 0.7 s con una amplitud variable de 2.0 a 3.0, con un valor de velocidad de onda S que varía de 230 m/s a 760 m/s, posee un alto contenido de humedad y la presencia de grietas y asentamiento en el Malecón Castagnola, malecón Grau y Hotel Megamar. El Sector II, presenta un periodo de vibración de 0.3 s, con un valor de velocidad de onda S que varía de 300 m/s a 800 m/s, presenta un alto contenido de humedad, así como una importante erosión del terreno cercano a la zona del acantilado. El Sector III, presenta un periodo predominante de vibración de 0.1 s, 0.2 s, 0.3 s y 0.7 s, con un valor de velocidad de onda S que varía de 280 m/s a 1000 m/s, alto contenido de humedad en la zona baja y presencia de grietas en algunos sectores. Además concluyeron que las zonas con mayor probabilidad a sufrir daño ante la posible ocurrencia de sismos debido a la inestabilidad de terreno se presentaría al borde del acantilado.

3.0.0 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La empresa *Topografía Urbano* de Tomas Alejandro Urbano Rodríguez, realizó el levantamiento topográfico. El principal objetivo es obtener planos topográficos veraces y fidedignos, lo cual consiste en realizar un levantamiento topográfico para localizar los detalles que se encuentren a los costados y/o largo del área de estudio, identificando sus características más relevantes; dentro de estas características se puede reflejar las vías, edificaciones, entre otros.

El procedimiento seguido en los levantamientos topográficos comprende dos etapas:

- El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Para esta recopilación se utilizó el método de radiación que consiste en medir ángulos horizontales y verticales y distancias horizontales y verticales con una estación total.
- El trabajo de gabinete o de oficina, que consiste en la transferencia de la información de los puntos medidos y el dibujo de los mismos sobre un plano.

3.1.0 Trabajos de Campo

La toma de los puntos singulares como los puntos de relleno fueron medidos mediante una Estación Total Marca Trimble Modelo M3, determinando las coordenadas y cota de cada punto en forma instantánea. La información recolectada fue almacenada en el equipo, la que posteriormente se recuperó mediante software específico y computador.

Tanto los puntos de relleno como los puntos singulares se determinaron mediante el método de radiación, entendiéndose como puntos singulares aquellos que definen tanto la geometría como la ubicación de accidentes naturales, edificaciones, deslindes, caminos, etc.

En la ejecución de los trabajos se emplearon los siguientes equipos.

- (01) Estación Total Trimble Modelo M3 de 1" de precisión
- (01) GPS Navegador personal Garmin
- (02) Radios Intercomunicadores.
- (01) Lap Top Asus G74S Intel i7, 2.20 GHz, RAM 12GB.
- (02) Cargador de baterías de 12 v.
- (01) Cámara fotográfica Digital SONY Cyber-shot
- (01) Camioneta Pick Up 4x4.

3.2.0 Puntos de Control

El levantamiento topográfico se realizó en coordenadas UTM Referenciales, considerando la estación de inicio GPS A con referencia al GPS B. El Cuadro N° 1 muestra las coordenadas en cada punto.

Cuadro N° 1. Coordenadas Globales de Estaciones

Punto #	Descripción	Este	Norte	Cota
1	GPS-A	275306.000	8661150.000	10.000
2	GPS-B	275396.399	8661050.558	16.543

En total se trabajó veintiocho (28) estaciones topográficas o puntos de cambio. Se realizaron puntos de cambio temporales como estaciones referenciales, necesarias para continuar con la visibilidad del terreno, de tal forma que servirán de base para los trabajos topográficos de replanteo.

3.3.0 Trabajo de Gabinete

Los trabajos de gabinete consistieron básicamente en:

- Exportación de datos topográficos de la Estación Total hacia el software Geodimeter Software Tools 2.0.
- Procesamiento de los datos de campo, se utilizó el software AutoCAD Civil 3D.

Además, esto corresponde a la transferencia de datos, desde la estación total directamente al USB en extensión CSV, para luego digitalizar dichos puntos (X, Y, Z).

3.3.1 Edición de TIN

Las TIN (Triangulated Irregular Network o red irregular triangular) son muy usadas para la representación de superficies que son altamente variables y contienen discontinuidades y líneas rotas. Los componentes principales de un TIN son los triángulos, nodos y bordes. Los nodos son localizaciones definidas por valores x,y,z desde los cuales se construye el TIN. Los triángulos están formados mediante la conexión de cada nudo con sus vecinos. Los bordes son las caras de los triángulos. La estructura exacta de un TIN está basada en unas reglas de triangulación que controlan la creación de los TIN. Para la representación real del terreno es muy necesaria la edición de éstos, ya que las probabilidades para unir los puntos (formación de triángulos) son muchas. En la Imagen N° 2, se muestra la estructura TIN del área del proyecto.

3.3.2. Procesamiento de Curvas de Nivel.

Esta etapa se procesa tomando en cuenta los intervalos del nivel del terreno, una vez editada la interpolación o triangulación se obtiene las curvas de nivel cuyos intervalos son: Curvas menores o secundarias: 1.0 metros. Curvas mayores o primarias: 5.0 metros.

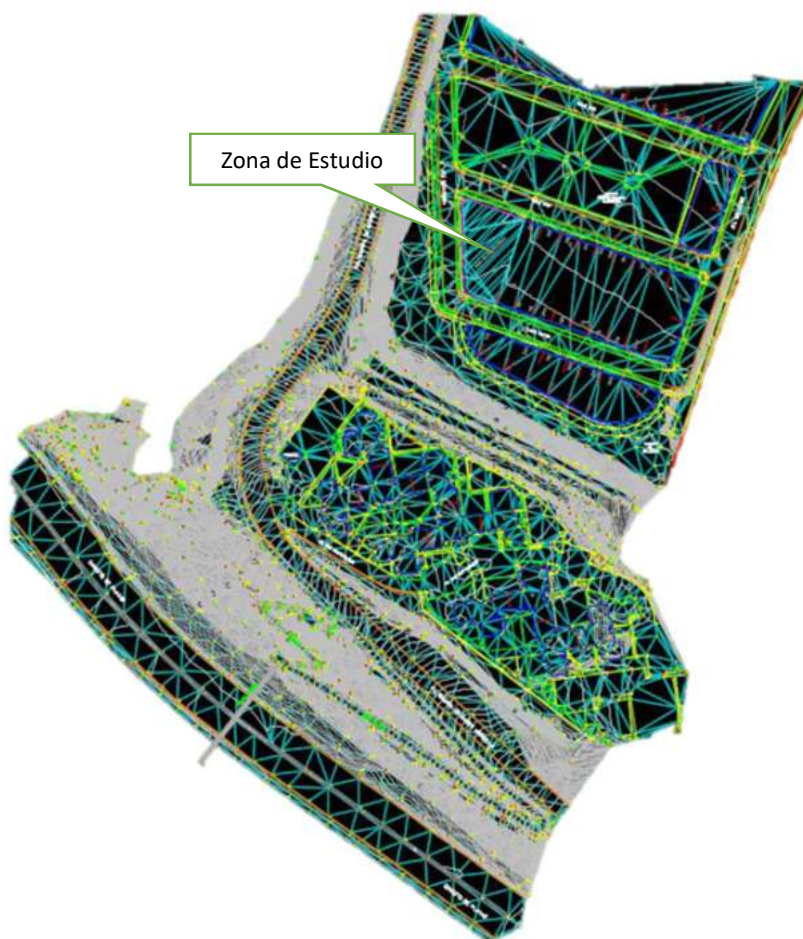


Imagen N° 2. Estructura TIN, representación de la superficie

4.0.0 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA

4.1.0 Calicatas de Exploración

Con el objeto de determinar las características del subsuelo en la zona en estudio se ejecutó una (01) excavación a cielo abierto o calicata de exploración (C-01) hasta una profundidad de excavación de 10.0 m con respecto al nivel NTP - 9.50m.

Inicialmente se realizó una clasificación manual-visual del perfil estratigráfico de la calicata y se obtuvieron muestras representativas disturbadas, debidamente protegidas, con la finalidad de ser remitidas al laboratorio de mecánica de suelos para realizar los ensayos estándar para determinar las propiedades físicas del suelo.

Durante la excavación de la calicata hasta la profundidad de 10.0 m, no se encontró la presencia del nivel freático.

La ubicación de la calicata ejecutada y su correspondiente registro se muestran en el plano PUS-01 y Anexo I, respectivamente.

5.0.0 ENSAYO DE LABORATORIO

Del trabajo de campo se obtuvieron muestras de suelo representativas, en las cuales se realizaron los ensayos de laboratorio estándar, que se efectuaron siguiendo las Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y las normas NTP.

5.1.0 Ensayos Estándar

Con las muestras alteradas obtenidas de las calicatas, se realizaron los ensayos estándar de clasificación de suelos y propiedades físicas, los cuales fueron:

- Contenido de Humedad Natural, ASTM D2216
- Análisis Granulométrico por Tamizado, ASTM D 422
- Límite Líquido, ASTM D 4318
- Límite Plástico, ASTM D 4318
- Ensayo de Clasificación de Suelos (ASTM - D 2487)

En el Cuadro N° 2 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos estándar de laboratorio.

Cuadro N° 2. Resumen del Resultados de Ensayos Estándar

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Ensayos Estándar						
			SUCS	Grava %	Arena %	Finos %	W (%)	LL (%)	IP (%)
C-01	M-01	1.40 - 2.80	GP-GM	70.89	23.52	5.59	3.20	NP	NP
	M-02	2.80 - 7.60	GP	72.22	23.98	2.80	4.24	NP	NP
	M-03	7.60 - 8.20	GP	78.12	17.39	4.49	3.93	NP	NP
	M-04	8.20 - 10.00	GW	67.49	28.21	4.30	3.56	NP	NP

Los certificados de los ensayos de laboratorio ejecutados se muestran en el Anexo II del presente informe

6.0.0 INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

Con la finalidad de complementar la investigación geotécnica, se realizó una investigación geofísica ejecutándose dos (2) sondajes MASW, un (1) sondaje MAM y tres (03) mediciones de Microtremor, mediante los cuales se determinaron el perfil de velocidad de onda S y el periodo fundamental del sitio.

6.1.0 Prospección Geofísica

6.1.1 Método de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW)

Los sondajes MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal son un método de exploración geofísica que 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. Este método consiste 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 (Imagen N°3).

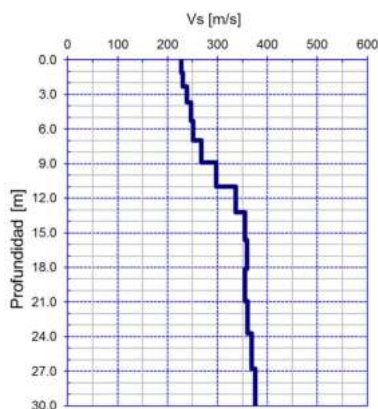


Imagen N° 3. Ejemplo de Perfil Unidimensional de velocidades de ondas S - Método MASW

En este método, la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas ondas las que predominan en el grupo de ondas, conservando alrededor del 70% de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90% al 95% del valor de la velocidad de propagación de las ondas S (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión) y a partir de la curva de dispersión calculada se obtiene el perfil sísmico del terreno en función de V_{s30} para cada punto de estudio.

Esta técnica se ha utilizado con bastante frecuencia en la exploración geotécnica-geofísica para la cimentación de puentes, presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación, obteniéndose 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, tal como se muestra en la Imagen N° 4.

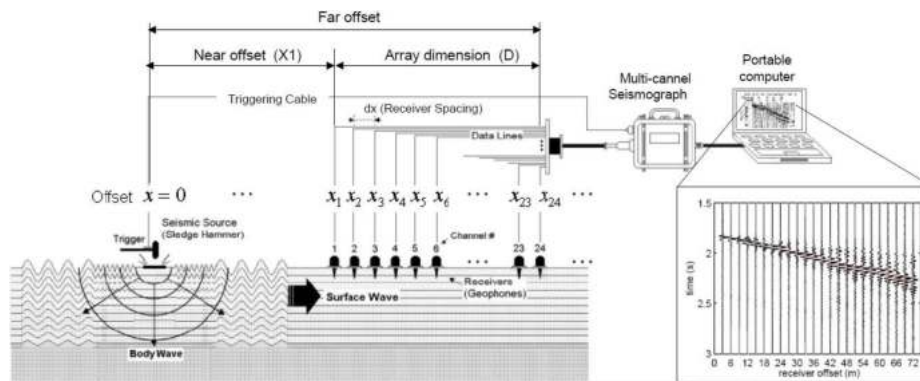


Imagen N° 4. Esquema representativo de la Técnica del Método MASW

6.1.2 Método de Arreglo Multicanal de Microtremor (MAM)

El sondaje MAM o Análisis de Arreglo Multicanal de Microtremores consiste en analizar las vibraciones ambientales o microtremores, éstos son registrados por múltiples receptores (geófonos) y sus velocidades de fase son analizadas. Aki (1957) analizó los microtremores como ondas superficiales con la teoría de correlación auto espacial (SPAC Spatial Auto Correlation), la cual permite calcular la velocidad de fase verdadera de las velocidades aparentes (Hayashi, 2008) obteniéndose la curva de dispersión; finalmente mediante un proceso de inversión se obtiene el perfil de velocidad de onda S (V_s). La combinación de los métodos MASW y MAM, permiten obtener perfiles de velocidad de ondas S hasta profundidades promedio de 100 m.

Este método monitorea las vibraciones ambientales (de frecuencias de vibración mayores a 2Hz) en arreglos concéntricos en forma de "L" o triángulos (Imagen N°5). La distribución de los geófonos para el sondaje MAM está en función del área disponible, además que los niveles de ruido ambiental ajenos no afecten a la toma de datos

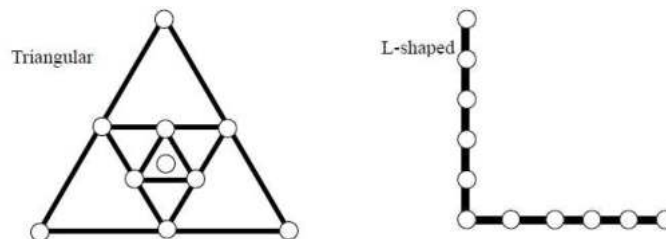


Imagen N° 5. Esquema representativo de la Técnica del Método MAM

6.1.3 Microtremor

Las vibraciones ambientales medidas en la superficie del terreno se le conocen como microtremores. Estos microtremores son generados por varias fuentes como vientos, olas del océano, ruido el tráfico, maquinarias pesadas, entre otros. Los microtremores son conformados principalmente en las ondas de Rayleigh.

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 usualmente obtenido de las mediciones de microtremores.

Espectro H/V

El método del espectro H/V fue propuesto por Nogoshi e Igarashi (1971) y ampliamente difundido por Nakamura (1989). Este método consiste en estimar el cociente entre los espectros de amplitud de Fourier de los componentes horizontal y vertical de las vibraciones de ruido ambiental registradas en la superficie del terreno. El cociente obtenido permite estimar el periodo fundamental del sitio.

Este método es el más utilizado para analizar los registros de microtemores 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 el presente estudio, se utilizó el cociente espectral H/V para estimar el periodo fundamental de vibración del suelo (Nakamura, 1989). El espectro H/V puede ser expresado en términos de una o dos componentes horizontales, lo cual se muestra en la siguiente relación:

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{S_{NS}^2 + S_{EW}^2}}{S_V^2}$$

Donde: S_{NS} , S_{EW} y S_V son los espectros de Fourier de los canales orientados en la dirección NS, EW y Vertical respectivamente.

Actualmente se sabe que el periodo fundamental del suelo determinado por medición de microtemores 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 microtemores

6.2.0 Valores Típicos de Ondas de Propagación

Se ha recopilado Tablas (del N°1 al N°4) de diversos autores, que contienen velocidades de ondas de propagación (V_p y V_s), los que sirven de referencia en la etapa de interpretación de los resultados.

Tabla N° 1. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [Arce, 1990]

Descripción	V_p (m/s)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy alterada o aluvi6n compacto	1000 - 2000
Roca alterada o aluvi6n muy compacto	2000 - 4000
Roca poco alterada	4000 - 5000
Roca firme	> 5000

Tabla N° 2. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [ASTM D 5777 – 95]

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

Tabla N° 3. Velocidades de Propagación de Ondas Compresionales [Martínez, 1990]

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

Tabla N° 4. Velocidades de Ondas de Corte [CISMID, 1991]

TIPO DE SUELO	Vs (m/s)
Limo	210
Arcilla	350
Arena	450
Arena Fina	460
Arena Media	600
Arena Gruesa	300
Arena Marina	360
Grava	510
Grava Gruesa	650

6.3.0 Equipo y Software

Para realizar los sondeos MASW y MAM se utilizó el equipo de prospección geofísica SMARTSEIS ST, desarrollado por la empresa GEOMETRICS, el cual tiene las siguientes características:

- 24 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución de 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- 24 sensores o geófonos de 4.5 Hz frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas S generadas por las fuentes de energía.
- Computadora portátil integrada al sistema de adquisición de datos.
- Un cable de conectores de geófonos de 120 m
- Una comba de 20 lb con los platos para el shot.

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 el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas S, así como el perfil sísmico unidimensional del terreno. Para el procesamiento de las líneas por el método MASW se utilizó el Software Surface Wave Analysis Wizard 1D ambos módulos son de OYO CORPORATION.

Para realizar la medición de Microtremores, se utilizó el equipo Minimate Pro6 de la marca Instantel, el cual está conformado por una unidad registradora de vibración y dos geófonos triaxiales. Esta unidad ofrece características inigualables y gran versatilidad en un paquete pequeño, resistente y fácil de usar. El sistema es portátil, por lo tanto, es ideal para aplicaciones de monitoreo de corta duración. Además, es lo suficientemente flexible como para integrarlo fácilmente a estaciones remotas de monitoreo permanente. Este equipo tiene una gama de aplicaciones para el registro de vibraciones ambientales, de puentes, construcción, demolición y análisis estructural y el monitoreo de voladuras. En la Imagen N° 6 se muestra el equipo de medición de vibración.

Las características del equipo de medición son las siguientes:

Canales del Minimate Pro6	:	06
Geófonos:		
Rango	:	254 mm/s
Rango de frecuencia	:	2 Hz - 250 Hz
Resolución	:	0.00788 mm/s
Precisión	:	0.5 mm/s
Nivel de Trigger mínimo	:	0.13 mm/s
Intervalo de muestreo	:	512, 1024, 2048 y 4096 mps



Imagen N° 6. Unidad Minimate Pro6 y sus Geófonos Triaxiales

El programa de cómputo utilizado fue el Microtremorsoft (Alva et al., 2019), éste permite calcular las razones espectrales de las señales ingresadas de una manera bastante simple para el usuario, sin embargo, hay que definir algunos inputs para poder analizar correctamente los registros y así obtener resultados razonables, dado que las razones espectrales se calculan a partir de los espectros de Fourier.

6.4.0 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo en la zona en estudio se realizaron en el horario de tarde, y consistieron en realizar dos (2) sondajes MASW, un (1) sondaje MAM y tres (3) microtremores los que fueron dispuestos sobre el terreno. La disposición de las líneas geofísicas se adecuó de acuerdo a la disponibilidad de las zonas libres existentes (ver Plano PUS-01).

Los sondajes MASW consistieron en colocar equidistantemente 24 sensores o geófonos en línea recta apoyados sobre el pavimento o veredas, luego estos fueron conectados al cable de conectores, para luego conectar el cable al adquisidor de 24 canales. Una vez dispuestos el sistema de medición, se generaron vibraciones al terreno mediante el impacto de una comba (shot) sobre el pavimento a una distancia de 5m y 10m por cada extremo de la línea.

El sondaje MAM consistió en colocar equidistantemente 11 sensores o geófonos en un arreglo lineal en forma de "L" apoyados sobre la vereda, luego estos fueron conectados al cable de conectores, para luego conectar el cable al adquisidor de 11 canales. Este sondaje no requirió alguna fuente activa más que las vibraciones ambientales.

Las mediciones de microtremores fueron realizadas sobre la superficie del terreno. Estas mediciones registraron las velocidades de los microtremores, las que luego fueron 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 N-S y E-W. Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtremores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

En el Anexo III, se muestra los registros de campo obtenidos, y la ubicación de estos sondajes se muestran en el PUS-01.

La ubicación de los sondajes MASW y MAM se muestran en el Plano PUS-01. En los Cuadros N° 3 y N° 4 se muestra un resumen de los sondajes MASW y MAM.

Cuadro N° 3. Resumen de los Sondajes MASW

Línea Sísmica	Tipo de Onda	Longitud de Tendido Sísmico	Separación entre Geófonos
M1D - 01	S	66.0 m	2.0 m
M1D - 02	S	66.0 m	2.0 m

Cuadro N° 4. Resumen del Sondaje MAM

Línea Sísmica	Tipo de Onda	Longitud de Tendido Sísmico	Separación entre Geófonos
LM- 01	S	100.0 m	10.0 m

6.5.0 Resultados de Ensayos Geofísicos

6.5.1 Sondajes MASW

En el Cuadro N° 5 se muestra un resumen de los valores de velocidad obtenidos de los sondajes MASW ejecutados. En éste se puede observar el valor de velocidad de onda S obtenida en cada sondaje. En el Anexo III, se presenta la distribución de las velocidades de ondas S realizadas.

Cuadro N° 5. Resultado de los Sondajes MASW

Línea Sísmica	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Descripción
M1D - 01	0.0 - 2.6	227 - 260	Material de cobertura
	2.6 - 4.8	365 - 477	Dep. aluvial de compacidad mediana a densa
	4.8 - 30.0	563 - 779	Dep. aluvial de compacidad densa a muy densa
M1D - 02	0.0 - 1.7	295	Material de cobertura
	1.7 - 4.8	315 - 470	Dep. aluvial de compacidad mediana a densa
	4.8 - 30.0	519 - 806	Dep. aluvial de compacidad densa a muy densa

6.5.2 Sondaje MAM

En el Cuadro N° 6 se muestra un resumen de los valores de velocidad de ondas S obtenido del sondaje MAM.

Cuadro N° 6. Resultado del Sondaje MAM

Línea Sísmica	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Descripción
LM - 01	0.0 - 1.7	212	Material de cobertura
	1.7 - 5.5	300 - 526	Dep. aluvial de compacidad mediana a densa
	5.5 - 100.0	519 - 1130	Dep. aluvial de compacidad densa a muy densa

6.5.2 Microtremor

En este estudio se realizó la medición de tres puntos distribuidos convenientemente en el área de estudio, uno en el sótano 3 (NPT-9.5m) y los otros en la superficie del terreno (jardines adyacentes al proyecto). Los resultados del cociente espectral H/V muestran picos en los rangos de periodos cortos (<0.4s) y periodos largos (> 1.0). Para periodos cortos se observa un pico predominante promedio en 0.05 s, mientras que para periodos largos se muestran picos entre 1.0 s a 1.6 s. En el Cuadro N° 7 se muestra los valores de periodo predominante, así como su respectiva amplitud promedio.

Cuadro N° 7. Periodo Fundamental del Suelo y Amplitud del Movimiento

Microtremor	Periodo Cortos (s)	Amplitud en Periodos cortos	Periodos largos (s)	Amplitud en Periodos Altos
M-1	---	1.0	1.17	1.5
M-2	0.05	1.5	1.02 - 1.62	1.5
M-3	0.06	1.5	1.02 - 1.62	1.7

En la Imagen N° 7 se muestran los espectros H/V promedio obtenidos de cada sensor, para su interpretación se consideró el valor medio. En estos espectros se observa que se tiene la forma de pico somero, es decir, los valores de las amplitudes son menores a dos (Lezada, 2014). Estos resultados obtenidos muestran que el comportamiento del terreno en su estado actual corresponde a un suelo rígido, sin embargo, es posible que el depósito aluvial genere amplificación en periodos largos debido a la profundidad del mismo y/o efecto de borde libre cercano a los acantilados.

De manera complementaria, del estudio del CISMID (2017), el punto de medición de microtremor M-16, cercano al área de estudio, da como resultado valores de periodo predominante de 0.04 s y 0.80 s, como se muestra en la Imagen N° 8. Este espectro H/V es similar a los obtenidos en este estudio.

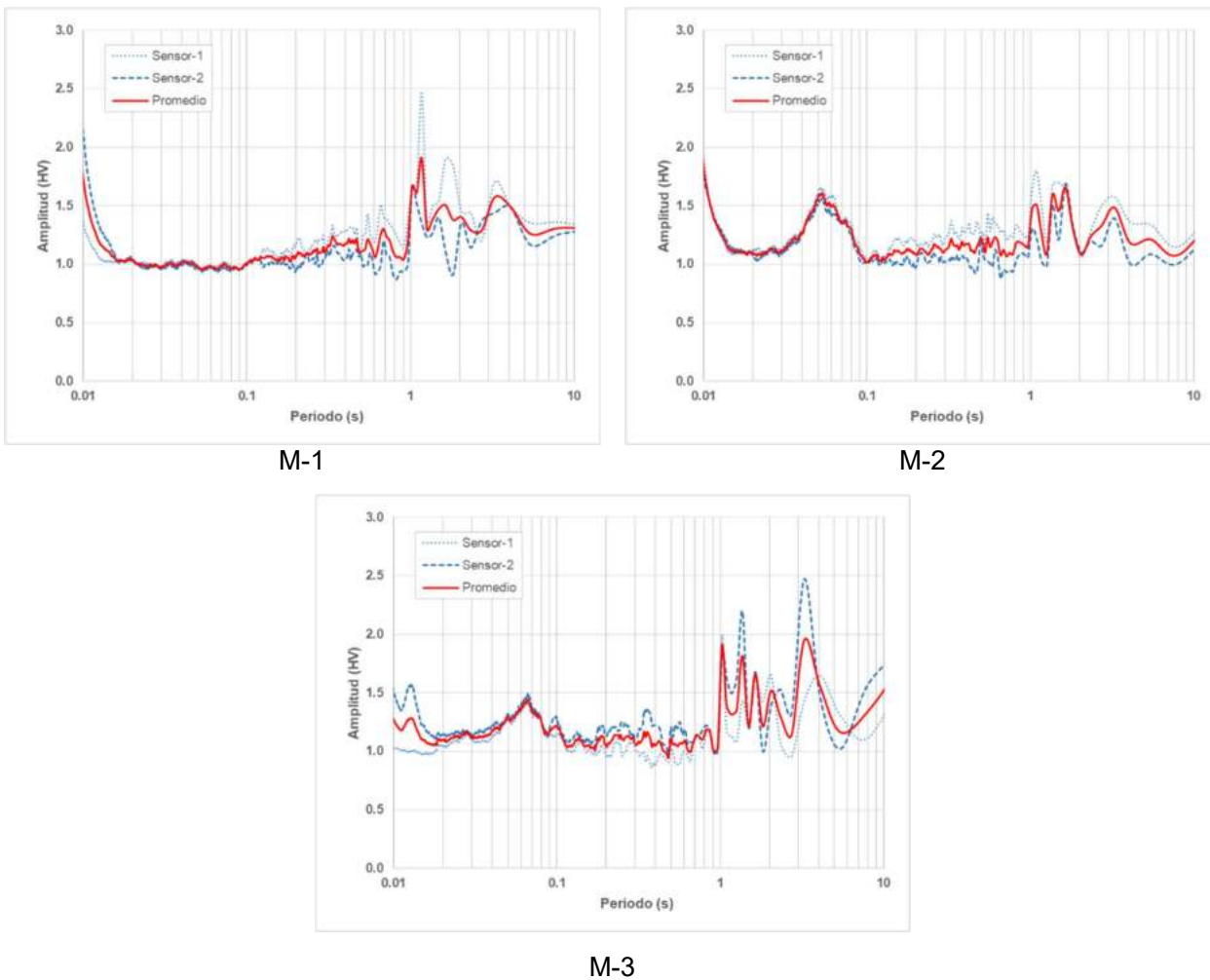


Imagen N° 7. Cociente Espectral HV Medidos

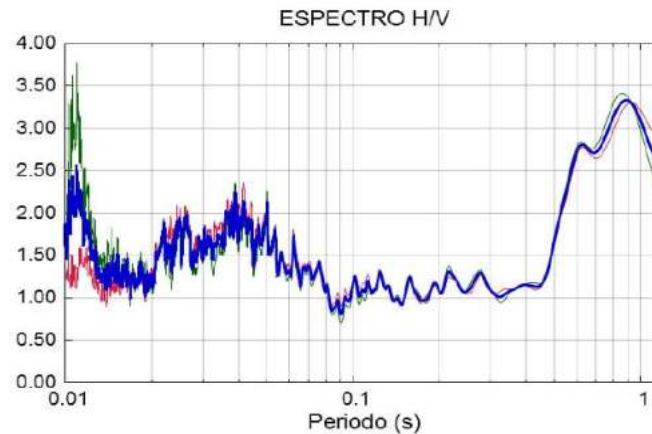


Imagen N° 8. Cociente Espectral HV del M-16, cercano al Área de Estudio (CISMID, 2016)

6.6.0 Caracterización del Perfil del Suelo

En base a los resultados de los sondeos MASW se caracterizaron los sitios mediante el criterio del V_{s30} de acuerdo a lo especificado en la Norma Técnica Peruana Diseño Sismorresistente (E.030-2018) y a la International Building Code (IBC, 2015). Para lo cual se pondera la distribución de velocidades de ondas de corte u onda S hasta 30 m de profundidad.

El perfil del suelo o categoría del sitio en función al valor del V_{s30} , considerados por el código IBC (2015) y por la E.030 (2018), se muestran en las Tablas N° 5 y N° 6, respectivamente. Los resultados obtenidos para el V_{s30} del sondeo MASW y la respectiva clasificación de sitio y perfil de suelo son presentados en el Cuadro N° 8.

Tabla N° 5. Clasificación del Perfil de Suelo, según E.030 (2018)

Perfil Tipo	Nombre característico	V_{s30} (m/s)
So	Roca dura	> 1500
S1	Roca o Suelo muy Rígido	500 - 1500
S2	Suelo Intermedios	180 - 500
S3	Suelos blandos	< 180
S4	Condiciones Excepcionales	Definida por Especialista

Tabla N° 6. Clasificación de Sitio, según IBC (2015)

Categoría	Perfil	V_{s30} (m/s)
A	Roca muy dura	> 1520
B	Roca dura	760 - 1520
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 - 760
D	Suelo rígido	180 - 360
E	Suelo blando	<180

Cuadro N° 8. Velocidades Vs30 y Clasificación de Sitio

Línea Sísmica	Vs30 (m/s)	E.030 (2018)		IBC (2015)	
		Perfil Tipo	Nombre característico	Categoría	Perfil
M2D - 01	581	S ₁	Suelos Muy Rígidos	C	Suelo muy denso
M2D - 02	575	S ₁	Suelos Muy Rígidos	C	Suelo muy denso
LM - 01	564	S ₁	Suelos Muy Rígidos	C	Suelo muy denso

7.0.0 SISMICIDAD Y PARAMETROS SISMICOS DEL SITIO

En el área de estudio es posible la ocurrencia de sismos de intensidad de IX a X grados en la escala de Mercalli Modificada. El Mapa N° 1 (ver anexos) muestra la Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú realizado por Alva Hurtado et al (1984), el cual se basó en mapas de isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y recientes.

De acuerdo a los resultados Peligro Sísmico, realizado por el CISMID (2017), el distrito de Magdalena del Mar, ocurrirá una aceleración horizontal máxima de **0.48 g**. Los resultados geofísicos muestran que los parámetros geotécnicos corresponden a un perfil Tipo S₁, según la norma E030 (2018), con valores de período **T_p = 0.40 seg**, **T₁=2.50 seg** y un factor de suelo de **S=1.0**.

8.0.0 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

8.1.0 Consideraciones Generales

Para realizar el análisis de estabilidad de taludes, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el análisis de estabilidad global se consideró las condiciones de la edificación totalmente construida.
- Se consideró dos secciones representativas para el análisis, estas fueron asignadas como A-A y B-B.
- Se consideró una sobrecarga 1.2 t/m² (11.8 kN/m²) por cada piso de la edificación.
- La presencia del nivel freático no afectará directamente al análisis de estabilidad del talud, por lo que no fue considerada.
- No se consideró el efecto de los anclajes, debido a que estos son destensados al culminar la construcción del edificio.

8.2.0 Características Geométricas

Para analizar la estabilidad del talud existente, se toma en cuenta las siguientes geométricas:

- La pendiente promedio de la ladera, por el lado de la sección A-A es H: V =1.1: 1.0, mientras que para la sección B-B es H: V=0.8:1.0, según los resultados del levantamiento topográfico.
- De acuerdo a la descripción del perfil estratigráfico, el terreno está conformado por el conglomerado de Lima, tal como se observa en la Imagen N° 9.

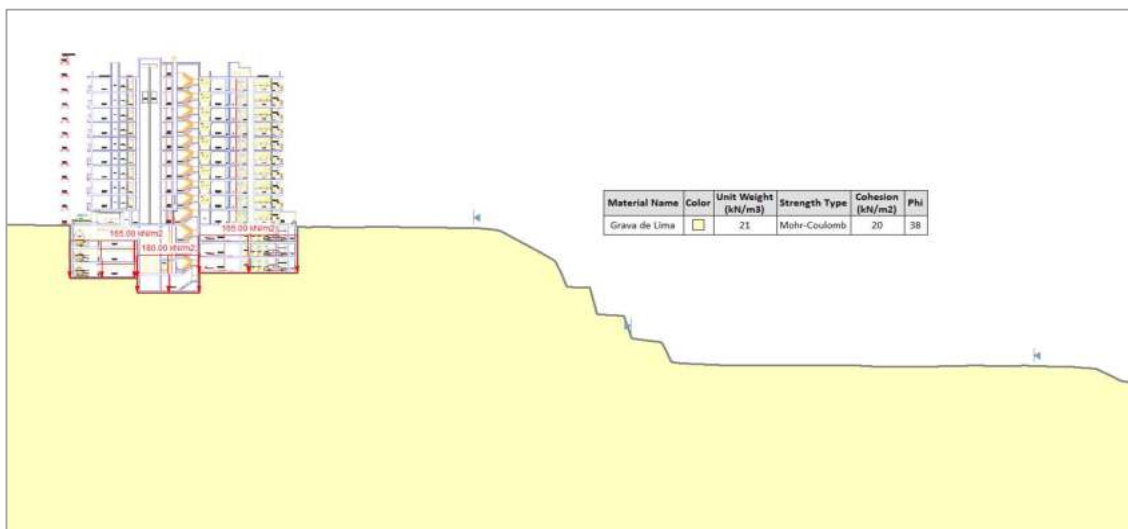


Imagen N° 9. Vista de la Sección B-B para Análisis de Estabilidad

8.3.0 Parámetros Geotécnicos

Con la finalidad de establecer los parámetros de resistencia cortante del material constituyente de los taludes se ha recopilado información de ensayos de corte directo in situ, realizados con anterioridad en la ciudad de Lima y los parámetros obtenidos en el presente estudio complementario.

La Universidad Nacional de Ingeniería (1972) realizó tres ensayos de corte directo in-situ en el conglomerado de la ciudad de Lima, donde se obtuvieron valores de ϕ' de 35 a 40°, con una cohesión de 0.4 a 0.5 kg/cm², característicos en estos tipos de suelos. Posteriormente Shuan (1997) para el Intercambio Vial Universitaria- Venezuela para un material GP-GM obtuvo valores de $\phi' = 34^\circ$ y $c' = 0.15$ kg/cm².

En el 2001, Cañari realizó un ensayo de corte directo in situ en la grava GP del acantilado de la Costa Verde en Miraflores arrojando resultados de 40° de fricción y 0.55 kg/cm² de cohesión. En enero del 2008 el consultor realizó un ensayo de corte directo in situ en San Isidro, entre la Av. República de Panamá y las calles San Cristóbal y Miguel Seminario, obteniendo valores de $\phi' = 43.5^\circ$ y $c' = 0.27$ kg/cm². Asimismo, se han tenido en cuenta las recopilaciones e investigaciones realizadas en los acantilados de Lima ejecutadas por Cañari (2001).

En base a la descripción anterior, el resultado de la calicata de exploración (grava pobremente gradada con arena, GP) y un reconocimiento exterior de los taludes, los parámetros de resistencia de los materiales que conforman el perfil estratigráfico de la sección geotécnica, se muestran en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9. Parámetros Geotécnicos

Descripción del Material Geotécnico	Parámetros de resistencia cortante		
	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Conglomerado de Lima (Grava)	21	20	38

8.4.0 Análisis Pseudoestático

Para el análisis pseudoestático se toma en cuenta un coeficiente sísmico horizontal (k_H) de **0.24**, la cual equivale al 50% de la aceleración máxima de 0.48g con un factor de amplificación de suelo de 1.0. Este valor obtenido corresponde a un período de retorno de 475 años y con un nivel de riesgo del 10% para un periodo de vida útil de 50 años.

8.5.0 Factores de Seguridad

Los factores de seguridad mínimos requeridos para la mínima superficie de falla determinada por métodos de equilibrio límite y adoptados para el presente diseño son los siguientes:

- Caso estático: 1.5
- Caso pseudoestático: 1.1 (Nivel de alto riesgo); 1.25 (nivel de riesgo bajo)

8.6.0 Resultados del Análisis de Estabilidad

Para el análisis de la Estabilidad de Taludes, se presentan las dos condiciones de estabilidad: estático y pseudoestático. Se utilizó el método de Equilibrio Límite mediante la metodología de Morgenstern-Price. Se ha utilizado el programa de cómputo Slide v.6.005 de la empresa Rocscience. Los Cuadros N° 10 y N°11 muestran los factores de seguridad mínimo de las condiciones estáticas y pseudoestáticas, de la estabilidad de borde del talud y estabilidad del edificio.

Cuadro N° 10. Factores de Seguridad de la Estabilidad del borde del Talud

Sección	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
A-A	1.54	0.97
B-B	1.50	0.93

Cuadro N° 11. Factores de Seguridad de la Estabilidad del Edificio

Sección	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
A-A	5.00	2.5
B-B	3.50	1.8

Como se observa los valores de los factores de seguridad, el análisis estabilidad del borde del talud en condiciones estáticas satisfacen la estabilidad; para las condiciones pseudoestáticas se observa que los factores de seguridad son menores a la unidad ante un sismo severo, por lo que ocurrirá un colapso del talud hasta una distancia de 12.0 m a partir del borde libre. Las corridas de la estabilidad se muestran en el Anexo IV. Por lo que a partir de los resultados de la condición pseudoestática y las superficies potenciales de falla, se establecieron zonas de alto riesgo y riesgo medio, tal como se muestra en el plano PZR-01.

Los factores de seguridad para el análisis de estabilidad del edificio, para condiciones estáticas y pseudoestáticas son mayores que los mínimos establecidos, por lo que el edificio será estable ante la condición de sismo severo. Las corridas de la estabilidad se muestran en el Anexo IV.

9.0.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El presente informe técnico fue elaborado en base a la norma E.030 "Suelos y Cimentaciones" y la Norma E.030 (2018) "Diseño Sismo-Resistente" ambos del Reglamento Nacional de Edificaciones, para realizar el análisis de estabilidad de taludes del Edificio Multifamiliar Malecón 120.
2. La calicata de exploración realizada permitió identificar la presencia de grava pobremente gradada con arena (GP) a la profundidad de 10m, por debajo del NPT: -9.5m. La presencia del nivel freático no fue identificada.
3. Se realizaron un total de dos (2) sondajes MASW con una profundidad de alcance de 30 m, un (1) sondaje MAM con una profundidad de alcance de 100 m, ambos sondajes permiten conocer el valor de velocidad de onda S (Vs); y tres mediciones de microtremores que permitieron identificar el periodo de fundamental del suelo.
4. El sondaje MAM, ha permitido estimar que el terreno (a partir de la superficie exterior del terreno) a la profundidad de 24.0 m a 36.0 m el terreno reduce los valores Vs de 760 m/s hasta 600 m/s, por lo que reduce su rigidez, por debajo de los 36.0 m el terreno vuelve a incrementar los valores de Vs hasta 1120 m/s.
5. Según los resultados de los sondajes MASW y MAM, el Vs₃₀ varía de 564 m/s a 581 m/s, por lo que según las normas E.030 (2018) e IBC (2015) el sitio caracteriza como un perfil Tipo S1 y Tipo C, respectivamente.
6. Según los resultados de la medición de microtremor, el periodo fundamental del sitio para periodos cortos (< 0.4 s) en promedio es 0.05 s, mientras que para periodos largos (>1.0s) varía de 1.02 s a 1.61 s, para ambos periodos se obtuvieron una amplitud de 1.5.
7. Para realizar el análisis en condiciones pseudoestáticas se consideró un coeficiente pseudoestático K_n=0.24, la cual equivale al 50% de la aceleración máxima de 0.48g, con factor de amplificación de suelo de 1.0. Este valor obtenido considerando un período de retorno de 475 años y con un nivel de riesgo del 10% para un periodo de vida útil de 50 años.
8. Se realizó el análisis de estabilidad de taludes del edificio en condiciones estáticas y pseudoestáticas observando que los factores de seguridad son mayores que los mínimos establecidos. Por lo que el edificio cumple con los requisitos de estabilidad aún para las condiciones de sismo severo. Los factores de seguridad en la siguiente tabla:

Sección	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
A-A	5.00	2.5
B-B	3.50	1.8

9. Se realizó el análisis de estabilidad del borde del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas, las condiciones estáticas satisfacen la estabilidad; para las condiciones pseudoestáticas muestra factores de seguridad menor a la unidad, a una distancia de 12 m a partir del borde libre, por lo que se estableció una zona de alto riesgo tal como se muestra en el plano PZR.
10. El edificio multifamiliar no tiene influencia sobre la inestabilidad del borde del talud existente, tal como se observan las superficies potenciales de falla del resultado del análisis de estabilidad de taludes.
11. Los resultados de este estudio se aplican exclusivamente al área de estudio, no se pueden utilizar para otros sectores u otros fines.

REFERENCIAS

- Arce J. (1991), "La Geofísica Aplicada a la Microzonificación" – Métodos de Prospección Geofísica en Estudios de Ingeniería, CISMID-UNI.
- Alva J.E., Ortiz C.E., Valverde J., Chipana M., Soto J., Díaz D., Tenorio A. (2019). "MicrotremorSoft UNI, Manual". Red Acelerografica UPG FIC UNI
- ASTM (1995), Norma Técnica de Exploración Geofísica, ASTM D5777.
- Cañari, M. (2001), "Análisis de la Estabilidad de Taludes de la Costa Verde", Tesis Grado FIC-UNI. Lima – Perú.
- CISMID (2017). "Estudio de Microzonificación Sísmica del Distrito de Magdalena del Mar". Programa 0068: Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres. Lima Perú.
- Hayashi K. (2008), "Development of the Surface-Wave Methods and its Application to Site Investigations". Dissertation. Kyoto University. Japan
- IBC (2015) International Building Code. ISBN: 978-1-60983-497-8. USA
- Lambe T.W, Whitman R.V. (2001), "Mecánica de Suelos". Editorial Limusa. Segunda Edición. ISBN 968-18-1894-6.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2018), "Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones", Lima – Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), "Norma Técnica de Edificaciones E-030-Diseño Sismorresistente", Lima – Perú.
- Roma, V. (2004), "Dynamic Soil Identification by Means of Rayleigh Waves", XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio
- U. S. Army Corps of Engineers (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
- Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Nakamura, Y. (1989) "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface" Quarterly report of railway technical research institute (RTRI), Japan.
- Nogoshi M. and Igarashi T. (1971). "On the amplitude characteristics of microtremor (part 2)" (in Japanese with english abstract). Journal of Seismological Society of Japan.
- Park, C.; Miller, R. y Xía, J. (1999), "Multichannel Analysis of Surface Waves", Geophysics, Vol. 64. N° 3. p: 800-808.
- Park, C.; Miller, R.; Xia, J. y & Ivanov, J. (2001), "Seismic Characterization of Geotechnical Sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) Method", Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2018), "Norma Técnica de Edificaciones E-030-Diseño Sismorresistente", Lima – Perú.
- Shuan, L.E. (1997), "Determinación de los Parámetros de Resistencia en Suelos Granulares Mediante el Ensayo de Corte Directo In Situ para Fines de Cimentación. Aplicación Intercambio Vial Av. Universitaria – Av.Venezuela" Tesis de Grado FIC – UNI