



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y DE TRANSPORTE

**DIRECCIÓN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y
GESTIÓN ESTRATÉGICA DEL RIESGO**



REF. No. VMOP-DACGER-063/2021

**INFORME TÉCNICO: TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN RESIDENCIAL SANTA LUCÍA,
MUNICIPIO DE ILOPANGO, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.**

Octubre de 2021



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y DE TRANSPORTE

San Salvador, Octubre de 2021.

REF. MOP-DACGER-063/2021
INFORME TÉCNICO: TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN RESIDENCIAL SANTA LUCÍA, MUNICIPIO DE ILOPANGO, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.

Índice

1.	Datos Generales.	1
2.	Ubicación Geográfica.	2
3.	Esquema de Ubicación:.....	2
4.	Antecedentes del lugar.....	3
5.	Ensayo de Tomografía Eléctrica	6
6.	Geología de la zona.....	9
7.	Investigación realizada ¡Error! Marcador no definido.	
8.	Resultados. ¡Error! Marcador no definido.	

1. Datos Generales.

Objeto de la Inspección: Aplicar la metodología geofísica de tomografía eléctrica para la caracterización de los estratos existentes en la zona de obras de mitigación construidas en la Residencial Santa Lucía en base a sus características de resistividad.

- 1.1. **Fecha y Hora de Ensayo** : 13 de Septiembre, 2021; 9:30 a.m.
 1.2. **Persona que recibe solicitud** : N/A
 1.3. **Institución que solicita inspección** : MOPT
 1.4. **Personal que participó en la Inspección:**

Personal

Institución

SPOP-DACGER-MOP

SPOP-DACGER-MOP

SPOP-DACGER-MOP
SPOP-DACGER-MOP
SG-DACGER-MOP
SG-DACGER-MOP
SET-DACGER-MOP
SD-DACGER-MOP

- 1.5. **Informes previos relacionados:** No Aplica
- 1.6. **Situación administrativa actual:** Contrato No. 88/2019 “Diseño y construcción del proyecto: Construcción de obras de protección en Residencial Santa Lucía, intersección del final Calle Principal y Av. Santa Lucía, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador” – Estado: Finalizado.

2. Ubicación Geográfica.

1.1 Ubicación General:

Departamento : San Salvador
Municipio : Ilopango
Cantón : Changallo

1.2 Coordenadas

Geodésicas:

N 13°41'21.65"N W 89° 7'31.03"O

3. Esquema de Ubicación:

El lugar en el cual se realizó el ensayo de Tomografía Eléctrica corresponde al final de la Calle Principal y Avenida Santa Lucía, de Residencial Santa Lucía, Cantón Changallo, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.



Imagen N° 1. Sector donde se realizó tendido eléctrico de investigación.
 Fuente: Google Earth, septiembre 2021.

4. Antecedentes del lugar

El sector de interés está conformado por un sistema hídrico superficial, pasando por la zona una quebrada sin nombre que es afluente del Río El Chagüite. La situación de esta red hídrica es bastante precaria debido a la degradación en sus márgenes y riberas causada por la erosión de los suelos prevalecientes en la zona, los cuales son predominantemente de tipo Tierra Blanca Joven (TBJ), lo cual está afectando también a viviendas y a infraestructura importante, entre ellos la Colonia Santa Lucía.

La malla urbana de la Colonia Santa Lucía, está conformada por una trama urbana tipo rectangular formando manzanas, compuestas por viviendas adosadas de alta densidad (500 hab/HA). Cabe mencionar que las zonas urbanas construidas en el municipio de Soyapango e Ilopango, fueron los primeros entornos proyectados dentro del AMSS con edificaciones de vivienda de interés social. Un sistema de áreas verdes degradadas componen la trama urbana, acompañado de equipamientos de tipo local.

La conformación geológica de los suelos en la zona, son casi en su totalidad de tipo piroclásticas ácidas (Tierra Blanca) S4, perteneciente a la Formación San Salvador, muchos de ellos carentes de cobertura vegetal.

Las características geológicas de los suelos de la zona, propició en el año 2008 la formación de una cárcava de grandes dimensiones en la Residencial Santa Lucía, generada por una inadecuada

canalización de drenajes, lo cual ocasionó un alto grado de erosión sucesiva en los taludes de las márgenes del Río Chagüite.

Entre los años 2009 y 2011 se realizaron obras de mitigación de erosión en el sector donde se había formado la cárcava de Residencial Santa Lucía para evitar el avance de la misma y de reducir el riesgo de colapso para las viviendas de la colonia. Estas obras consistieron en: Relleno de un tramo de Avenida Santa Lucía, conformación de taludes y bermas al costado oriente de la misma, así como la construcción de canaletas y bajantes en el cuerpo del talud, las cuales conducen las aguas de escorrentía generadas a pozos recolectores de aguas lluvias, posteriormente el flujo es canalizado a través de tubería de concreto de 48", y su disposición final hacia un derramadero de concreto rectangular de geometría variable, para finalmente disponer las aguas conducidas hacia el cauce natural^[1].

Es de indicar que la tasa de avance y aumento en las dimensiones de la cárcava fueron altas, debido al tipo de material que conforma las laderas de la colonia y el cauce de la quebrada. Esto, aunado a la deficiente disposición de aguas superficiales y la carencia de obras de mantenimiento y monitoreo del comportamiento de las obras, propició a que se generase un avance progresivo de la erosión en la cárcava desde el año 2016.

Hacia el año 2019, el continuo avance de dicha cárcava alcanzó a afectar algunas viviendas cercanas a la zona de origen de la misma, avanzando hasta alcanzar algunas viviendas de los bloques C y K, por lo que se pudo categorizar la zona con 3 niveles de riesgo: alto, medio y bajo, por lo que se tuvo que realizar estudios para una nueva propuesta de obras de protección. El riesgo alto fue definido en los polígonos C, G y K, como se muestra en la siguiente imagen:

¹ Para más detalles, ver informe con número de referencia MOP-DACGER-SD-036-2017



Imagen No. 1 Afectaciones directas y nivel de riesgo
 Fuente: DACGER

Para dar solución definitiva al problema, en octubre del 2019, el MOPT adjudicó a la empresa constructora UDP Coyatoc Labtop para realizar el “Diseño y construcción del proyecto: Construcción de obras de protección en Residencial Santa Lucía, intersección del final Calle Principal y Av. Santa Lucía, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador” bajo el contrato No. 88/2019.

En tal sentido, las obras planteadas para el lugar fueron: Un relleno masivo, construcción de 5 pozos de concreto reforzado para aguas lluvias e instalación de tuberías PVC, construcción de muro cabezal de mampostería, derramadero con canal formado por cama hidráulica de mampostería y muros laterales, construcción de cajas, muros y derramaderos complementarios, las cuales fueron finalizadas en marzo de este año.

Bajo la nueva visión de seguimiento y monitoreo, tanto del comportamiento hidrológico – hidráulico del lugar, como del comportamiento de las obras en uso, y con la visión de blindar las obras de infraestructura realizada ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos cada vez más recurrentes en tiempo e intensidad, aunado con el historial de derrumbes del lugar, es necesario realizar detecciones tempranas de posibles anomalías que pudiesen originarse en el sector de las obras.: Para esto resulta de gran valor el contar con equipos de prospección geofísica, como el de resistividad eléctrica, lo que permite detectar oportunamente posibles cambios en la humedad del relleno masivo realizado, y así llevar a cabo acciones preventivas para evitar posibles daños futuros hacia las obras.

5. Ensayo de Tomografía Eléctrica

El día 13 de septiembre del presente año, se realizó un ensayo de Resistividad Eléctrica en la Residencial Santa Lucía, específicamente a final de la Calle Principal, sobre la Avenida Santa Lucía, a un costado de las obra de protección realizadas por el Ministerio de Obras Públicas y de Transporte. El propósito del ensayo fue identificar filtraciones o cuerpos de agua que puedan poner en riesgo las actuales obras realizadas.

La Tomografía Eléctrica (T.E) consiste en la inyección de corriente y la respectiva medición del potencial eléctrico en distintos puntos dentro del espacio de acción. Esto se realiza por medio de electrodos instalados en el terreno con una configuración específica (ver **Imagen N° 2**).

Un factor importante es la manera en que este potencial es medido, dando paso a las diferentes configuraciones. Entre las más comunes se encuentran: Wenner, Schlumberger y dipolo-dipolo. Wenner y Schlumberger, las cuales se caracterizan por una configuración en la que los electrodos que inyectan corriente se encuentran por fuera de los electrodos que miden el potencial. En cambio, en la disposición dipolo-dipolo los electrodos que inyectan corriente se encuentran continuos y forman un dipolo con los electrodos que miden el potencial, permitiendo medir mayor cantidad de puntos de potencial en el mismo tiempo.

Para llevar a cabo el ensayo de Resistividad Eléctrica en la Residencial Santa Lucía se utilizó la configuración Dipolo-Dipolo. El equipo utilizado para la medición en campo fue el *SuperSting R8* y el software utilizado para el procesamiento de los datos colectados en campo y generación de las imágenes fue el *Earthimager 2D* ver 2.4.1 (Ver, **Fotografía N°1**). El software utilizado para la simulación de la disposición de electrodos fue el *SuperSting Administrator*, ambos de la empresa *Advanced GeoSciences, Inc. (AGI)*.

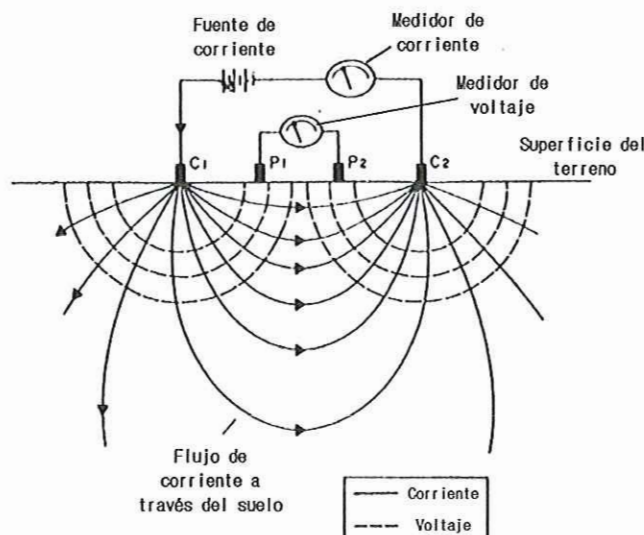


Imagen N° 2. Esquema que muestra el concepto básico de medición de Resistividad Eléctrica. Fuente: Norma ASTM D-6431



Fotografía N°1. Equipo de resistividad eléctrica empleado SuperSting R8.

Una vez seleccionado el sitio para llevar a cabo el ensayo, se procedió a anclar 63 electrodos distribuidos a cada 5.20 metros, alcanzando una longitud efectiva de 322.40 metros. Para mejorar la conductividad entre los electrodos se agregó a cada uno agua en los puntos de apoyo sobre el terreno.

Con dicha disposición de electrodos es posible alcanzar profundidades de hasta aproximadamente 6 veces el espaciamiento entre electrodos, con resolución aceptable. Cabe destacar que esta profundidad aproximada es en base a una simulación en condiciones de un terreno horizontal. Dependiendo de la topografía del terreno y al incluir las elevaciones respectivas, es posible que, en aquellos puntos donde el terreno varíe significativamente, también varíe la profundidad de prospección, por lo que en algunos casos se hace necesaria una calibración de los datos en elevación. (Ver **Imagen N°3 y N°4**)

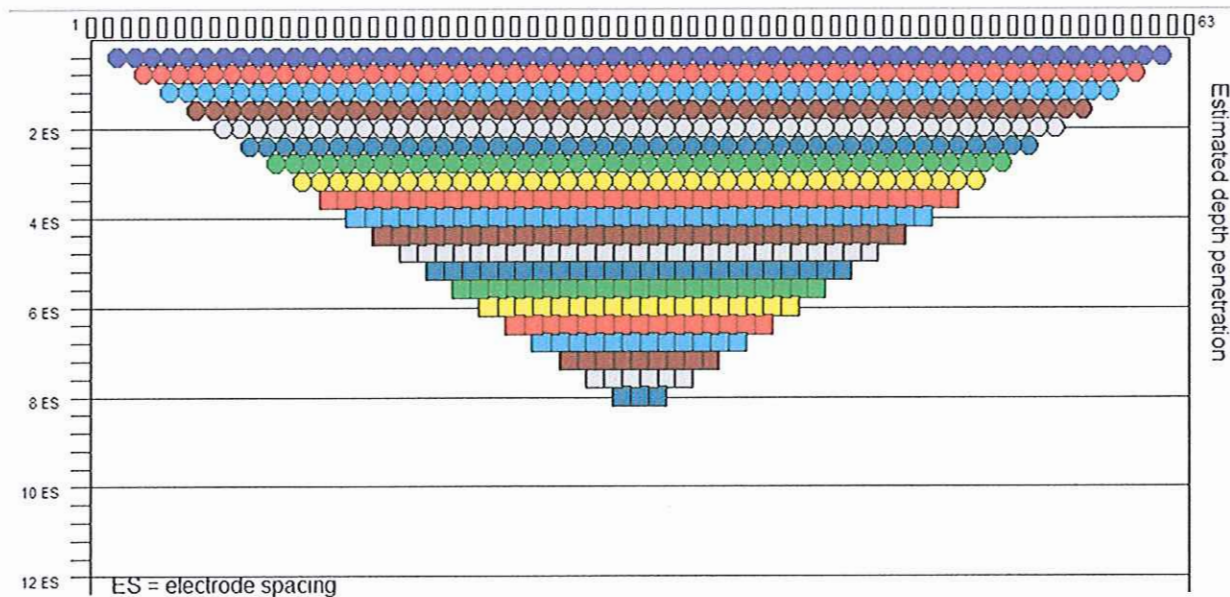


Imagen N° 3. Secuencia utilizada para electrodos a cada 5.20 metros.



Fotografía N°2. Electrodo instalado en el terreno.

PLANIMETRÍA GENERAL



Imagen N° 4. Planimetría general de la zona de investigación.

Las principales características del levantamiento de tomografía eléctrica han sido las siguientes:

- Interdistancia electrodos : 5.20 metros.
- Numero medidas para cada configuración : 2
- Numero medidas totales : 630
- Arreglo : DIP-DIP (dipolo – dipolo).



Imagen N° 5. Esquema de arreglo DIPOLO-DIPOLO realizado en el lugar.
 Fuente: Norma ASTM D – 6431.

El arreglo dipolo – dipolo consiste en la disposición de un par cercano de electrodos de corriente (C – C) y un par de cercano de electrodos de potencial (P – P), separados por la interdistancia física entre electrodos en campo (na).

6. Características del Lugar

Geología

La geología del lugar, acorde al Mapa Geológico de El Salvador elaborado por la Misión Alemana (1978), se encuentra en una zona compuesta por suelos de tipo S4 “Tierra Blanca” (Piroclásticas ácidas y epiclásticas volcánicas subordinadas), pertenecientes a la Formación San Salvador. Estos depósitos acompañaron la erupción pliniana más reciente ocurrida en la Caldera de Ilopango, 430 años D.C y se localizan en casi toda el Área Metropolitana de San Salvador –AMSS. (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5), son estratos muy susceptibles a la erosión y en muchas ocasiones afectada por derrumbes y flujos deslizantes.

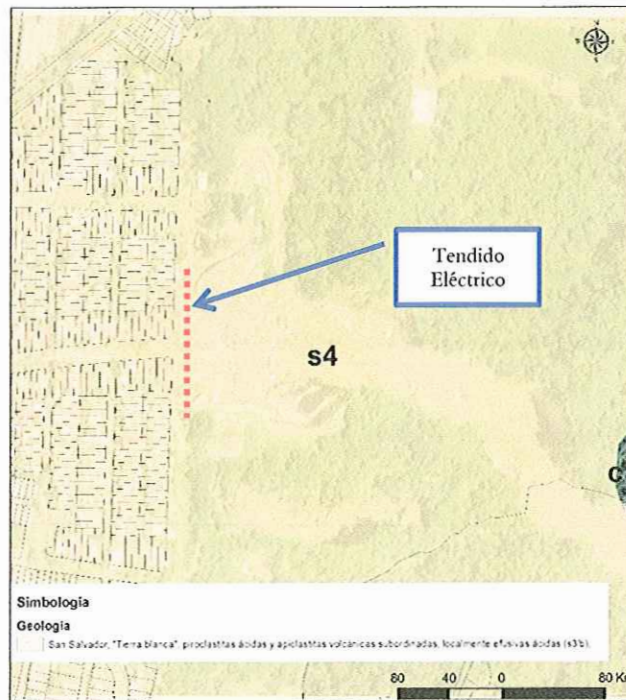


Imagen N° 6. Geología Predominante en la zona.**7. Análisis de Resultados.**

Los resultados obtenidos de la Resistividad Eléctrica realizada en la zona de la Residencial Santa Lucía, reflejan una profundidad efectiva de investigación de 60 metros aproximadamente. El modelo tomográfico ha evidenciado diferentes variaciones de resistividad en profundidad.

Para efectos de practicidad, en el perfil de tomografía eléctrica se identificaron dos estratos que denominaremos como **A** y **B** (ver **Imagen N° 7**) con características diferentes de resistividad, los cuales definen el grado de saturación de los materiales del relleno conformado, que por lo general se compone de ceniza volcánica o tierra blanca joven (TBJ).

En la zona central del perfil, donde se encuentra ubicada el relleno realizado para la obra de protección, comprendida entre los electrodos 16 y 40, se puede observar variaciones de resistividad, desde 1 ohm x m hasta mayores de 2,000 ohm x m. Cabe mencionar que el relleno conformado fue compactado y estabilizado con bermas de aproximadamente 10 metros de altura y protegidas en la zona frontal con geotextil.

En la zona comprendida entre los electrodos del 21-25 y del 38-42, a una profundidad aproximada de 25 metros por debajo del nivel del tendido, se identificaron sub-estratos que denominaremos como **A-C** (ver **Imagen N° 7**), con valores de resistividad variables desde 1 a 7.5 omh x m, coincidiendo estas con las características asociadas a la presencia de estructuras de pared anclada (ver **Imagen N° 8**). Es posible que dichos anclajes, en temporada de invernal, pudieran mantener por mayor tiempo el flujo natural de agua que se infiltra en las zonas altas de la residencial. Por otro lado, debajo de este se detectó un estrato que se ha denominado como **B**, con resistividades altas arriba de los 350 omh x m, los cuales están asociados al elevado grado de compactación e impermeabilización que obtuvo al conformarse el relleno.

En la zona central del perfil, entre los electrodos 29 y 31 se encontró un sub-estrato identificado como **A1**, en el cual se detecta humedad considerable, y que se asocia a su cercanía a un pozo de descarga de aguas lluvias construido en la zona, cuya base se localiza aproximadamente a 15 metros de profundidad, con respecto del nivel de rasante de la calle. También en la parte superficial del perfil de tomografía eléctrica, en específico entre los electrodos 19-29 y 31- 39, con un espesor de aproximadamente 3 metros, se localizan zonas con humedad, las cuales se ubican en áreas donde actualmente está una zona sin construcción y que no cuentan con ningún tipo de impermeabilización (ver **Imagen N° 8**).

En las áreas contiguas a la obra de protección, entre los electrodos del 1 al 16, hacia el noreste, y del 43 al 63, hacia el sur-oeste se detectaron estratos con valores de resistividad variables de 7.5 a 51.2 ohm x m, asociados a humedad considerable, entre los 30 y 40 de profundidad medidos desde el nivel de la calle o del tendido realizado, los cuales fueron denominados como tipo **A**, los cuales por las características naturales de la tierra blanca y por ser zonas que no forman parte del relleno realizado en la

obra, se componen de materiales con características de mayor permeabilidad, asociadas a un mayor grado de saturación.

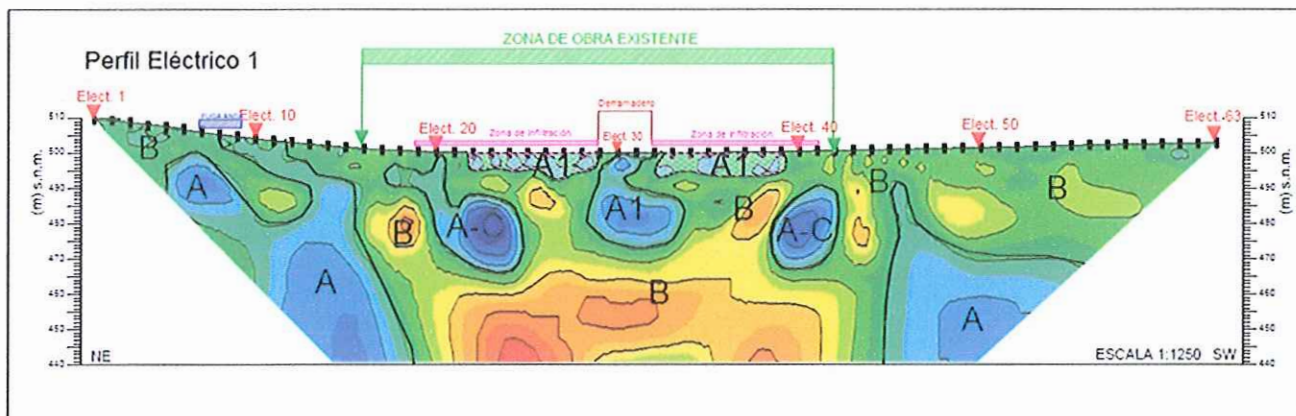


Imagen N° 7. Perfil de Tomografía Eléctrica Obtenido.



Imagen N° 8. Escala colorimétrica para interpretación de perfil tomográfico.

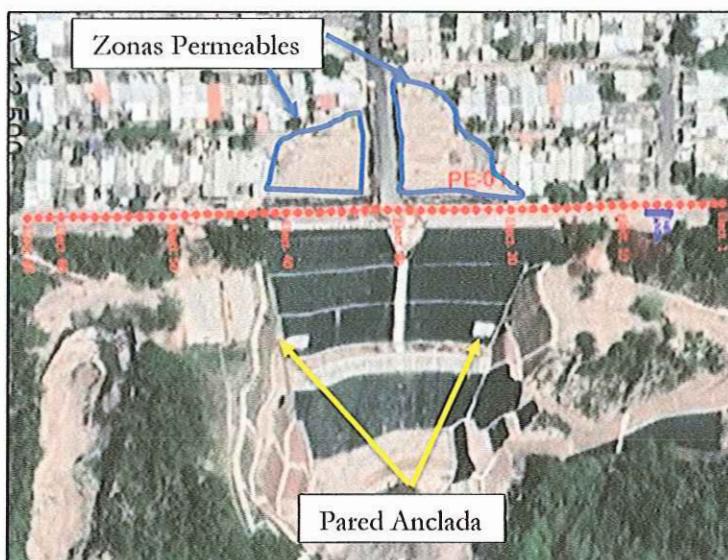


Imagen N° 8. Ubicación de zona de pared anclada en obras de mitigación.

8. Conclusiones

Tomando en consideración los resultados obtenidos en el ensayo de tomografía realizado, se concluye lo siguiente:

- Los valores de resistividad obtenidos en el perfil producto de la investigación son bastante consistentes con las condiciones evidenciadas en campo, por lo que se considera representativo y un insumo para las posibles obras complementarias a realizar
- En la zona objeto de estudio se identificaron dos estratos principales denominados como A, con valores bajos de resistividad, variables entre 1 a 51.2 ohm x m que se pueden asociar a zonas saturadas, y B, con valores de resistividad mayores de 350 ohm x m, asociados a su grado de compactación y poca presencia de aguatal como se muestra en el **Cuadro N°1**.

VALORES REPRESENTATIVOS DE RESISTIVIDAD PARA SUELO, AGUA Y ROCAS (Ωm)	
Resistividad del suelo	
Zonas húmedas	50-200
Zonas secas	100-500
Zonas áridas	200-1,000 (a veces es más baja como 50 si el suelo es salino).
Aguas	
Agua del suelo	1 a 100
Agua lluvia	30 a 1,000
Agua de Mar	orden de 0.2
Hielo	105 a 108
Tipos de Rocas	
Ígneas y Metamórficas	100 a 10,000
Sedimentos consolidados	30 a 1,000
Sedimentos no consolidados	orden de 0.2

Cuadro N° 1. Valores representativos de resistividad para algunos tipos de suelos, agua y rocas. Fuente: ASTM D-6431.

9. Recomendaciones

Tomando como base las condiciones prevalecientes en el sitio, así como los resultados obtenidos del perfil de tomografía eléctrica realizado en la zona de la Residencial Santa Lucía, se recomienda:

- Mantener un monitoreo de las condiciones de humedad en la zona mediante la realización de tomografía eléctrica en temporada seca y en temporada invernal, para evaluar el comportamiento de las zonas identificadas con valores de resistividad bajos (zonas húmedas).
- Se recomienda que en las zonas identificadas como “permeables” en la Imagen No. 8, se realicen trabajos de impermeabilización a corto plazo, para evitar exceso de infiltración en zonas vulnerables y que pueda tener daños la obra a largo plazo.
- Por lo anterior, se estima conveniente la implementación de medidas para el blindaje de las obras ya realizadas ante los efectos adversos del cambio climático, pudiéndose considerar el uso de SUDS o sistemas de biorretención para el control de infiltración de agua en el sector, de manera de garantizar su durabilidad y adecuado funcionamiento en el tiempo
- Se sugiere realizar ensayos complementarios de refracción sísmica para evaluar la condición de compactación del relleno al menos dos veces al año, y así tener un registro del comportamiento de la obra.
- Adicionalmente se recomienda instrumentar el sector con deformímetros, de modo de monitorear la posible ocurrencia de desplazamientos de masas de suelo que pudiesen afectar la obra realizada.

10. Técnicos Responsables-DACGER.

Unidad Técnica
Subdirección de Puentes y Obras de Paso

Unidad Técnica
Subdirección de Puentes y Obras de Paso

Unidad Técnica
Subdirección de Puentes y Obras de Paso

Unidad Técnica
Subdirección de Estudios Técnicos

Unidad Técnica
Subdirección de Geotecnia

Unidad Técnica
Subdirección de Puentes y Obras de Paso

Unidad Técnica
Subdirección de Drenajes

Unidad Técnica
Subdirección de Geotecnia

Vo. Bo
Ing. M.I. Brenda Hazel Sandoval
Directora DACGER.

