

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Integración de métodos geofísicos para la caracterización del
subsuelo en el diseño de una presa sobre areniscas: Caso
Laguna Arín, Ancash**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Randy Gabriel Minaya Bottoni

 [0009-0009-4922-2783](https://orcid.org/0009-0009-4922-2783)

Asesora

MSc. Nora Nelly Revolle Alvarez

 [0000-0003-1818-9561](https://orcid.org/0000-0003-1818-9561)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Minaya Bottoni [1]
Referencia/Reference	[1] R. Minaya Bottoni <i>“Integración de métodos geofísicos para la caracterización del subsuelo en el diseño de una presa sobre areniscas: Caso Laguna Arín, Ancash”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Minaya, 2025)
Referencia/Reference	Minaya, R. (2025). <i>Integración de métodos geofísicos para la caracterización del subsuelo en el diseño de una presa sobre areniscas: Caso Laguna Arín, Ancash</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*Para Américo Minaya: aunque ya no estés aquí, siempre
estarás conmigo.*

Agradecimientos

A la Municipalidad Distrital de Ponto y la empresa ECCSAM S.R.L. por dejarme utilizar la información de la presa en la Laguna Arín, con la que se pudo elaborar el presente trabajo de investigación.

Resumen

La investigación integra métodos geofísicos y geotécnicos para caracterizar el subsuelo en el diseño de la presa Arín, ubicada en la Laguna Arín, región de Ancash, Perú, diseñada sobre formaciones de areniscas de mediana y alta permeabilidad. Este tipo de rocas, por su heterogeneidad y fracturamiento, representan un reto para la estabilidad y estanqueidad de la estructura.

Se aplicaron técnicas geofísicas no destructivas como la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), ensayos de Refracción Sísmica y ensayos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), complementadas con perforaciones diamantinas, ensayos SPT, Lefranc y calicatas. Esta integración permitió elaborar un modelo geológico-geotécnico correlacionado y validado.

Adicionalmente se definió con precisión la estratigrafía, la estimación de parámetros geotécnicos a partir de datos geofísicos y se identificaron zonas críticas consideradas en el diseño y tratamiento del terreno de fundación.

El estudio refuerza el uso de enfoques multidisciplinarios en obras hidráulicas, con aplicación particular en entornos andinos complejos que demandan soluciones técnicas adaptadas y eficientes.

Palabras clave — Métodos geofísicos, caracterización del subsuelo, tomografía de resistividad eléctrica, refracción sísmica, diseño de presas.

Abstract

The research integrates geophysical and geotechnical methods to characterize the subsurface for the design of the Arín Dam, located in Laguna Arín, Ancash region, Peru, founded on sandstone formations of medium to high permeability. These rock types, due to their heterogeneity and fracturing, pose significant challenges for the stability and watertightness of the structure.

Non-destructive geophysical techniques, such as Electrical Resistivity Tomography (ERT), Vertical Electrical Soundings (VES), Seismic Refraction surveys, and Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), were implemented, complemented by diamond drilling, Standard Penetration Tests (SPT), Lefranc permeability tests, and test pits. This integration enabled the development of a correlated and validated geological–geotechnical model.

In addition, the stratigraphy was accurately defined, geotechnical parameters were estimated from geophysical data, and critical zones were identified for consideration in the design and foundation treatment works.

The study reinforces the application of multidisciplinary approaches in hydraulic engineering works, with specific relevance to complex Andean environments that demand technically adapted and efficient solutions.

Keywords — Geophysical methods, foundation stability, electrical resistivity tomography, seismic refraction, dam design.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Planteamiento del problema de investigación.....	1
1.2.1 Situación problemática	1
1.2.2 Formulación del problema	2
1.2.3 Justificación de la investigación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis	3
1.4.1 Hipótesis general	3
1.4.2 Hipótesis específicas.....	3
1.5 Metodología del estudio	4
1.6 Ubicación y accesibilidad	4
1.7 Hidrología e hidrogeología	5
1.8 Clima y vegetación	8
1.9 Sismicidad.....	9
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	11
2.1 Antecedentes referenciales	11
2.1.1 Antecedentes internacionales	11
2.1.2 Antecedentes nacionales	13
2.2 Marco teórico	14
2.2.1 Métodos geofísicos	14

2.2.2	Caracterización del subsuelo	24
2.2.3	Diseño de una presa	25
2.3	Marco conceptual.....	26
2.3.1	Permeabilidad	26
2.3.2	Ensayo Lefranc	27
2.3.3	Inyección de lechada de cemento	27
2.3.4	Inversión de datos geofísicos	28
2.3.5	Resistividad aparente.....	28
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		30
3.1	Marco geológico.....	30
3.1.1	Geomorfología	31
3.1.2	Estratigrafía.....	36
3.1.3	Litología	42
3.1.4	Geología estructural.....	43
3.1.5	Geodinámica externa	45
3.2	Investigaciones de campo	47
3.2.1	Métodos geotécnicos	49
3.2.2	Métodos geofísicos utilizados.....	60
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		68
4.1	Evaluación de los métodos geofísicos aplicados.....	68
4.1.1	Resultados gráficos y modelos obtenidos de los métodos geofísicos.....	68
4.1.2	Alcances y limitaciones metodológicas.....	82
4.1.3	Análisis comparativo de eficiencia.....	84
4.1.4	Factores que afectaron la calidad de los datos.....	84
4.2	Integración de datos geotécnicos y geofísicos	85
4.2.1	Correlación de parámetros geofísicos con ensayos geotécnicos.....	86
4.2.2	Zonificación del terreno en el eje de presa	89
4.2.3	Perfil geológico-geotécnico integrado del eje de presa.....	91

4.2.4 Aplicación al diseño de cimentación	94
4.2.5 Recomendaciones de tratamiento del terreno	95
Conclusiones	97
Recomendaciones	101
Referencias bibliográficas	103
Anexos	107

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Ubicación específica de la Laguna Arín.	5
Tabla 2 : Parámetros sísmicos según tipo de suelo	9
Tabla 3 : Clasificación sísmica de suelos según el International Building Code (ICC, 2012).	23
Tabla 4 : Clasificación sísmica de suelos según la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018).....	23
Tabla 5 : Formaciones y depósitos cuaternarios en la Laguna Arín.	38
Tabla 6 : Tabla Litológica – Laguna Arín.....	42
Tabla 7 : Datos generales de las perforaciones diamantinas realizadas.	50
Tabla 8 : Resumen del registro geológico-geotécnico de las perforaciones.	50
Tabla 9 : Resultados de los ensayos SPT y Cono Peck ejecutados en las perforaciones diamantinas.	54
Tabla 10: Resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc.....	57
Tabla 11: Datos generales de las calicatas realizadas.....	59
Tabla 12: Resumen del registro geológico-geotécnico de las calicatas.....	59
Tabla 13: Tipos y cantidades de métodos geofísicos empleados.....	60
Tabla 14: Datos de los ensayos TRE.....	62
Tabla 15: Datos de los ensayos SEV.....	64
Tabla 16: Datos de los ensayos de Refracción Sísmica.....	66
Tabla 17: Datos de los ensayos MASW.....	67
Tabla 18: Resistividades y espesores de estratos obtenidos en los SEV.....	75

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ubicación general de la Laguna Arín.	5
Figura 2: Entorno geológico que condiciona las características hidrológicas e hidrogeológicas.	6
Figura 3 : Modelo tridimensional del entorno de la Laguna Arín y su red de drenaje superficial saliente.....	7
Figura 4 : Detalle del bofedal andino con pastos, musgos y escorrentía superficial.	8
Figura 5 : Mapa de zonificación sísmica del Perú según la NTP E.030.....	10
Figura 6 : Métodos geofísicos eléctricos.	15
Figura 7 : Esquema del montaje para Tomografía Eléctrica.....	16
Figura 8 : Toma de datos utilizando el arreglo Polo-Dipolo.	17
Figura 9 : Esquemas de cuadripolos para los ensayos SEV.	18
Figura 10: Vista de campo del tendido típico para Refracción Sísmica y MASW.	19
Figura 11: Esquema típico de Refracción Sísmica.....	20
Figura 12: Ejemplo de un perfil unidimensional MASW.....	22
Figura 13: Ejemplo de un perfil unidimensional MASW.....	22
Figura 14: Pseudosecciones y modelo invertido.	29
Figura 15: Geología regional del área de estudio.....	30
Figura 16: Mapa morfoestructural de la zona de estudio.....	32
Figura 17: Unidad geomorfológica montañas en roca sedimentaria.....	33
Figura 18: Unidad geomorfológica abanicos coluviales.....	34
Figura 19: Unidad geomorfológica llanura y relleno lacustre.	35
Figura 20: Unidad geomorfológica complejo glaciar.....	35
Figura 21: Unidades geomorfológica terrazas aluviales.	36
Figura 22: Columna estratigráfica regional del cuadrángulo de Singa.....	37
Figura 23: Areniscas del Grupo Goyllarisquizga.	38
Figura 24: Calizas de la Formación Crisnejas.	39

Figura 25: Calizas de la Formación Jumasha.	39
Figura 26: Depósitos morrénicos.	40
Figura 27: Depósitos lacustres.....	40
Figura 28: Depósitos aluviales.	41
Figura 29: Depósitos coluviales.	41
Figura 30: Litología representativa del Grupo Goyllarisquizga.	42
Figura 31: Litología representativa de la Formación Crisnejas.....	43
Figura 32: Litología representativa de la Formación Jumasha.	43
Figura 33: Traza de la falla al noreste de la laguna.....	44
Figura 34: Procesos geodinámicos en el área de estudio.	46
Figura 35: Meteorización de calizas en forma de lapiaz.....	46
Figura 36: Distribución de los ensayos geotécnicos y geofísico utilizados.	48
Figura 37: Máquina de perforación diamantina modelo LY-44 ubicada en el sondeo P-04.....	49
Figura 38: Muestras obtenidas del sondeo P-03, caja 6, desde 21.50 hasta 25.00 m.	52
Figura 39: Equipo de golpeo automático de la maquina perforadora.	53
Figura 40: Muestra recién extraída en el sondeo P-04.....	55
Figura 41: Muestra del ensayo SPT a 2.70 m en la perforación P-05.	56
Figura 42: Procedimiento para la ejecución del ensayo Lefranc.	56
Figura 43: Ejecución y registro estratigráfico de la calicata C-2.	58
Figura 44: Ejecución y registro estratigráfico de la calicata C-2.	58
Figura 45: Ejecución de la línea de TRE TE-01 a través del eje de presa.....	61
Figura 46: Ejecución de la línea de TRE TE-02 en el embalse de la presa.	61
Figura 47: Ejecución del ensayo SEV-01.....	63
Figura 48: Ejecución del ensayo SEV-02.....	63
Figura 49: Vista general del equipo y tendido sísmico en el ensayo LS-01 en la zona de embalse.	65
Figura 50: Tendido de línea sísmica del ensayo LS-02 a través del eje de presa.	65

Figura 51: Tendido sísmico del ensayo MASW-01.....	66
Figura 52: Tendido sísmico del ensayo MASW-02.....	67
Figura 53: Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-01.....	69
Figura 54: Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-02.....	70
Figura 55: Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-03.....	71
Figura 56: Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-04.....	72
Figura 57: Perfiles de resistividad eléctrica y espesores de estratos obtenidos.	74
Figura 58: Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-01. ..	75
Figura 59: Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-02. ..	75
Figura 60: Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-03. ..	76
Figura 61: Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-04. ..	76
Figura 62: Modelo 2D de velocidades V_p del ensayo de Refracción Sísmica LS-01.....	77
Figura 63: Modelo 2D de velocidades V_p del ensayo de Refracción Sísmica LS-02.....	78
Figura 64: Modelo 2D de velocidades V_p del ensayo de Refracción Sísmica LS-03.....	78
Figura 65: Modelo unidimensional de velocidades V_s del ensayo MASW-01.....	79
Figura 66: Modelo unidimensional de velocidades V_s del ensayo MASW-02.....	80
Figura 67: Modelo unidimensional de velocidades V_s del ensayo MASW-03.....	80
Figura 68: Modelo unidimensional de velocidades V_s del ensayo MASW-04.....	81
Figura 69: Modelo unidimensional de velocidades V_s del ensayo MASW-05.....	81
Figura 70: Perfil geológico-geotécnico interpretado en el eje de presa.	92
Figura 71: Perfil geológico-geotécnico con las estructuras proyectadas de la presa.....	93

Introducción

En regiones donde la demanda de agua crece aceleradamente, la construcción de presas es una solución estratégica para el almacenamiento y la adecuada gestión del agua. Sin embargo, sobre terrenos con características geológicas adversas, tales como formaciones de areniscas las que generalmente presentan altas permeabilidades, el diseño de presas implica desafíos importantes, ya que este tipo de rocas pueden presentar alta permeabilidad, alto grado de fracturamiento y composición heterogénea.

En este contexto, la caracterización precisa del subsuelo resulta esencial para garantizar la estabilidad estructural y funcional de la presa. Si bien los métodos geotécnicos tradicionales ofrecen información puntual y detallada, su alcance espacial es limitado. Por ello, la integración de métodos geofísicos como la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), ensayos de Refracción Sísmica y ensayos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), complementadas con perforaciones diamantinas, ensayos SPT, Lefranc y calicatas, permite complementar la información geotécnica tradicional y obtener un modelo más representativo del comportamiento del terreno.

Esta investigación tiene como objetivo aplicar un enfoque integrado de caracterización geofísica y geotécnica para el diseño de una presa sobre areniscas en la Laguna Arín (Ancash), aportando herramientas metodológicas que mejoren la precisión del diseño de cimentaciones y técnicas de mejoramiento del terreno.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Las presas son infraestructuras estratégicas para la gestión del recurso hídrico, utilizadas en abastecimiento de agua, generación de energía, riego y control de inundaciones. Su estabilidad depende de un estudio detallado del subsuelo, ya que zonas con alta permeabilidad y fracturación pueden comprometer la cimentación.

En la Laguna Arín, Ancash, Perú, se proyecta la construcción de una presa sobre areniscas fracturadas, lo que representa un desafío técnico. Para evaluar las condiciones del terreno y proponer soluciones que mejoren su estabilidad, se emplearon métodos geofísicos eléctricos como los ensayos TRE, SEV; y sísmicos como los ensayos Refracción Sísmica y MASW.

Este estudio optimiza el diseño de cimentación mediante una caracterización precisa del subsuelo, reduciendo riesgos de filtración y garantizando la seguridad de la presa.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

1.2.1 *Situación problemática*

En el Perú, la construcción de presas constituye una estrategia clave para el almacenamiento y distribución del recurso hídrico, especialmente en regiones altoandinas donde la disponibilidad de agua varía estacionalmente. No obstante, uno de los mayores desafíos en el diseño de estas infraestructuras radica en las condiciones geológicas del terreno, particularmente cuando se emplazan sobre formaciones de areniscas.

Las areniscas, por su naturaleza porosa y su grado variable de cementación, presentan características geomecánicas y de permeabilidad altamente heterogéneas, las cuales pueden comprometer la estabilidad y funcionalidad de la cimentación de la presa. El diseño de estas estructuras requiere identificar zonas de fracturas, cambios litológicos y niveles freáticos, así como estimar con precisión los parámetros de resistencia y deformabilidad del subsuelo.

Los estudios convencionales, basados únicamente en perforaciones, calicatas y ensayos in situ o de laboratorio, si bien son fundamentales, ofrecen una visión limitada del comportamiento tridimensional del terreno. Además, la baja densidad espacial de estos métodos puede dejar sin detectar zonas críticas que influyen en la seguridad de la presa. Frente a ello, los métodos geofísicos no destructivos brindan una alternativa eficaz, rápida y económicamente viable para ampliar y complementar la información del subsuelo, permitiendo así una caracterización más integral del mismo.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo contribuyen los métodos geofísicos a la delimitación de la estratigrafía y al entendimiento general del comportamiento del subsuelo en formaciones de arenisca, y de qué manera esta integración mejora el diseño de presas?

1.2.3 Justificación de la investigación

La estabilidad de las presas depende de una caracterización precisa del subsuelo, especialmente en terrenos de alta permeabilidad y fracturación, como las areniscas, donde el riesgo de infiltraciones y erosión interna es significativo (ICOLD, 2005).

En la Laguna Arín, Ancash, Perú, las condiciones geológicas adversas requieren un análisis detallado para garantizar la seguridad y funcionalidad de la presa. Sin embargo, los métodos geotécnicos tradicionales, como las perforaciones diamantinas, proporcionan información puntual y limitada, lo que dificulta una comprensión integral del terreno.

En este contexto, la aplicación de métodos geofísicos permite obtener datos continuos y detallados sobre la estratigrafía, permeabilidad y discontinuidades del subsuelo, facilitando la detección de zonas críticas y optimizando el diseño de soluciones técnicas, como pantallas de impermeabilización (Spasic-Gril, 2023).

La integración de estas herramientas en los estudios geotécnicos mejora la precisión en la toma de decisiones, reduce costos y minimiza riesgos estructurales, lo que hace que esta investigación no solo sea necesaria, sino también aplicable a futuras obras hidráulicas en regiones con características geológicas similares (Mebrahtu, Abay, Hailu y Hagos, 2020).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Integrar los métodos geofísicos para la caracterización del subsuelo en el diseño de una presa para reservorio.

1.3.2 Objetivos específicos

Del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Usar métodos geofísicos para delimitar la estratigrafía
- Determinar parámetros geotécnicos clave a partir de métodos geofísicos
- Integrar datos geofísicos y geotécnicos para obtener un modelo representativo del comportamiento del subsuelo.
- Usar métodos geofísicos para identificar zonas de riesgo estructural, como fracturas y áreas de alta permeabilidad.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La integración de métodos geofísicos permitirá una caracterización precisa y completa del subsuelo en el diseño una presa sobre areniscas.

1.4.2 Hipótesis específicas

De la hipótesis general se desprenden las siguientes hipótesis específicas:

- Los métodos geofísicos permitirán mejorar la delimitación de la estratigrafía, facilitando la identificación de zonas de heterogeneidad y riesgo con mayor precisión.
- La determinación de parámetros geotécnicos a partir de métodos geofísicos permitirá evaluar la estabilidad y propiedades del suelo.
- La integración de datos geofísicos y geotécnicos mejorará la representación del subsuelo y permitirá identificar zonas críticas.
- El uso de métodos geofísicos optimizará la detección de zonas de riesgo estructural, como fracturas y áreas de alta permeabilidad.

1.5 Metodología del estudio

La investigación se basa en la aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos para la caracterización del subsuelo en la zona de estudio. Se realizaron trabajos de campo con la implementación de ensayos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Refracción Sísmica y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), con el objetivo de identificar zonas de alta permeabilidad, fracturas y variaciones en la composición del suelo. Posteriormente, los datos obtenidos fueron procesados e interpretados para correlacionarlos con estudios geotécnicos convencionales, permitiendo una mejor comprensión de la estratigrafía del terreno y optimizando el diseño de cimentación de la presa. Finalmente, se evaluó el aporte de estos métodos al diseño de la solución geotécnica denominada inyecciones de lechada de cemento, para mejorar la impermeabilización y estabilidad del subsuelo, mediante la formación de una cortina de impermeabilización.

1.6 Ubicación y accesibilidad

El área de estudio se ubica en el distrito de Ponto, provincia de Huari, región Ancash, Perú. Geográficamente, la zona se ubica dentro de la Zona UTM 18S, datum WGS 84.

El acceso a la zona del proyecto desde Lima se realiza a través de la Carretera Panamericana Norte hasta Pativilca, desde donde se toma la Ruta Nacional PE-3N hasta Huaraz (aproximadamente 6 a 8 horas de viaje en automóvil). Desde Huaraz, el recorrido continúa hacia Huari y posteriormente Ponto, en un trayecto adicional de 4 horas, totalizando un tiempo estimado de 10 a 12 horas de viaje en auto. Véase Tabla 1 y Figura 1.

Dado que el área de estudio se encuentra en una zona montañosa con caminos de difícil acceso, fue crucial considerar las condiciones climáticas y del terreno para la planificación logística de los trabajos de campo.

Tabla 1

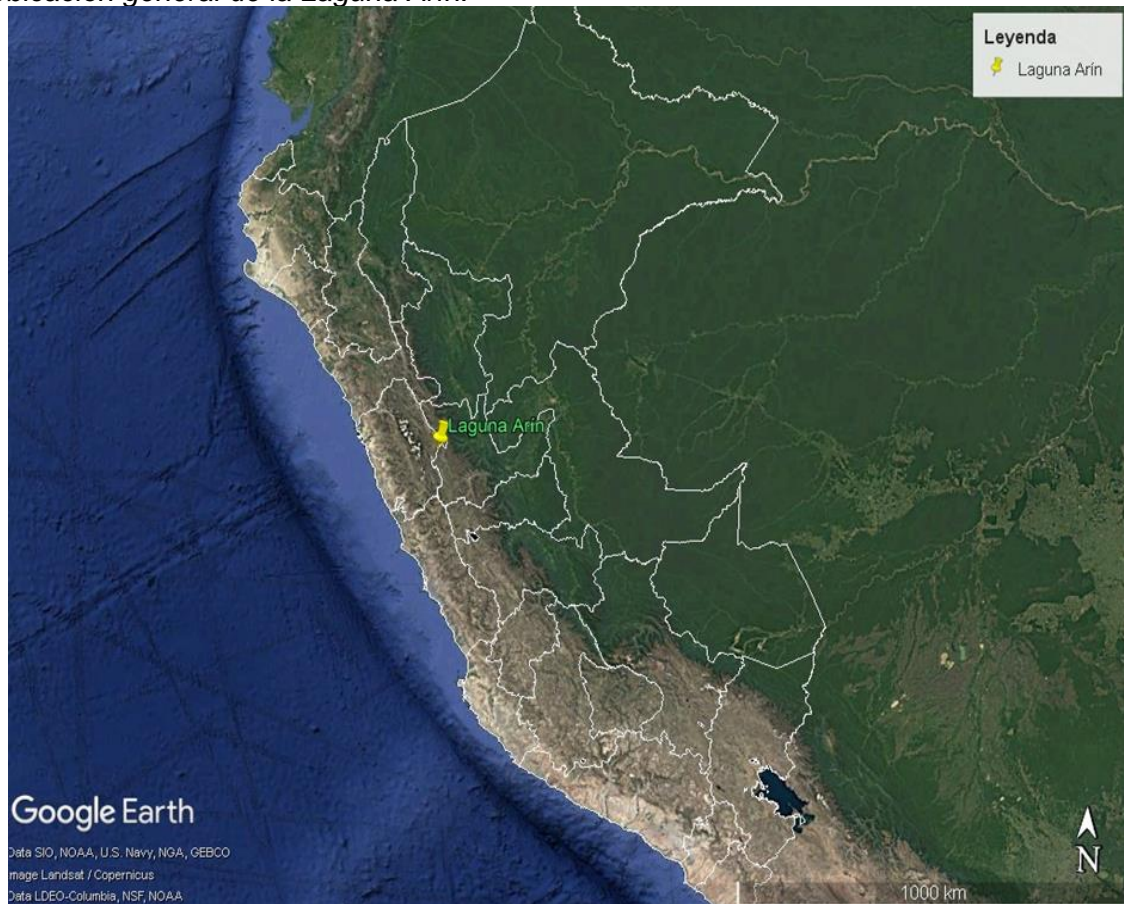
Ubicación específica de la Laguna Arín.

SISTEMA	X	Y	ALTITUD PROMEDIO
UTM WGS 84	286783 m	8961318 m	4285 msnm
Geográficas	76°56'29.87"O	9°23'27.98"S	4285 msnm

Nota: Elaboración propia

Figura 1

Ubicación general de la Laguna Arín.



Nota: Google Earth usando shapefiles de límites departamentales del IGN (2023).

1.7 Hidrología e hidrogeología

La cuenca de la Laguna Arín y las quebradas asociadas (Arín y Trasvase) se localizan en la parte alta de la cuenca del río Marañón, en el distrito de Ponto, provincia de Huari, región Ancash. El régimen hídrico de la zona está determinado por precipitaciones estacionales, concentradas entre octubre y marzo, seguidas de un periodo seco

prolongado. Esta dinámica produce una marcada variabilidad en los caudales superficiales, con valores mínimos durante el estiaje (mayo a septiembre) (ECCSAM S.R.L., 2022).

Como parte de los estudios realizados para el expediente técnico de la presa en la laguna, se realizó el estudio hidrológico, estimándose que los caudales promedio en la quebrada Arín varían entre 112.00 l/s (época húmeda) y 28.00 l/s (época seca), mientras que en la quebrada Traslase fluctúan entre 28.00 l/s y 7.00 l/s. La demanda hídrica máxima para riego se calculó en 131.10 l/s para el mes de julio, generando un déficit estacional de hasta 123,004.91 m³, lo que justifica la necesidad de una infraestructura de regulación, como la presa proyectada en la Laguna Arín (ECCSAM S.R.L., 2022).

Desde el enfoque hidrogeológico, el entorno de la Laguna Arín presenta depósitos glaciares, coluviales y aluviales, así como litologías sedimentarias identificadas en subsuelo mediante perforación diamantina, entre ellas areniscas con permeabilidad media a alta que favorecen la infiltración y la formación de acuíferos someros. En superficie predominan afloramientos de rocas sedimentarias de tipo caliza, visibles en los sectores elevados que rodean la laguna. En la Figura 2 se observa el cauce de desagüe de la laguna y su entorno geológico inmediato, el cual condiciona la dinámica hidrogeológica de la zona y la interacción entre el flujo superficial y subterráneo.

Figura 2

Entorno geológico que condiciona las características hidrológicas e hidrogeológicas.

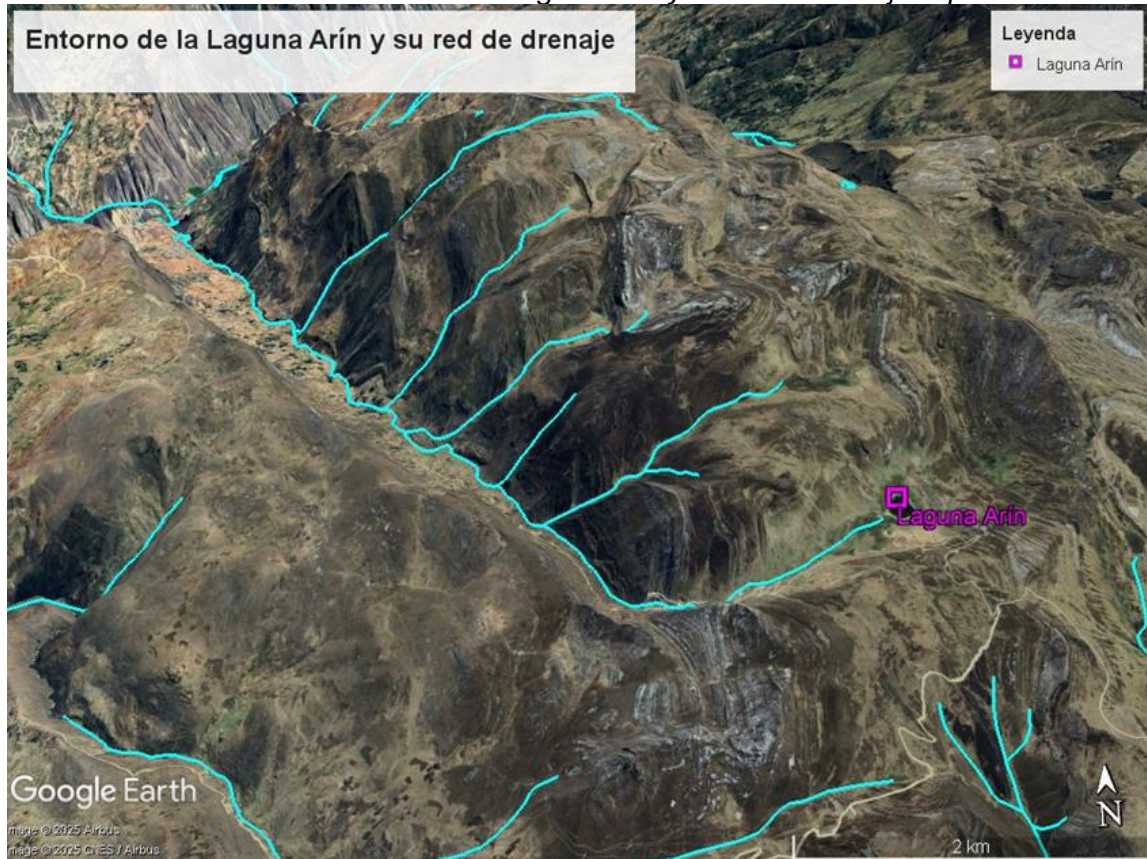


Nota: Elaboración propia.

La interacción entre el escurrimiento superficial y el flujo subterráneo en el entorno de la Laguna Arín se ve reflejada en su sistema de drenaje. Tal como se aprecia en la Figura 3, el agua de la laguna fluye aguas abajo a través de un cauce principal que recoge y canaliza los aportes de quebradas menores, conformando una red de drenaje superficial común. Este patrón de flujo evidencia la conexión hidráulica entre la laguna y el sistema hidrográfico regional, condicionada por la topografía y la disposición de las unidades geológicas presentes.

Figura 3

Modelo tridimensional del entorno de la Laguna Arín y su red de drenaje superficial saliente.



Nota: Google Earth usando datos de red hidrográfica del IGN (2023).

La comprensión conjunta del comportamiento hídrico superficial y subterráneo permite plantear soluciones de diseño más seguras, optimizando el almacenamiento del recurso y previniendo riesgos geotécnicos asociados a las condiciones del terreno.

1.8 Clima y vegetación

La Laguna Arín está aproximadamente a 4285 msnm, se sitúa en la región altoandina de Ancash, caracterizada por un clima frío de montaña con temperatura media anual de 4-5 °C, alta amplitud térmica diaria, con días relativamente templados y noches muy frías con frecuentes heladas y una precipitación anual que oscila entre 600 y 800 mm, concentrada principalmente en la estación lluviosa austral (noviembre a marzo) (ANA, 2007). La vegetación predominante corresponde a pajonales de gramíneas altoandinas, principalmente ichu (*Stipa ichu*), que forman pastizales densos característicos de la puna (Quispe, 2021).

En las zonas deprimidas o con saturación permanente de agua se desarrollan bofedales, humedales altoandinos dominados por vegetación hidrófila que cumplen una función hidrológica crucial al actuar como zonas de almacenamiento y regulación hídrica: durante la época de lluvias absorben y retienen el agua, formando depósitos de turba en muchos casos y la liberan gradualmente durante la temporada seca, favoreciendo la recarga de acuíferos y el mantenimiento de caudales base en los cursos de agua. Esta capacidad de amortiguamiento convierte a los bofedales en ecosistemas clave para la sostenibilidad hídrica de la puna y para el soporte de actividades ganaderas altoandinas (Maldonado, 2014). Véase la Figura 4.

Figura 4

Detalle del bofedal andino con pastos, musgos y escorrentía superficial.



Nota: Elaboración propia.

1.9 Sismicidad

El área del proyecto se localiza en la zona sísmica 3, tal como se presenta en la Figura 5, según la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño sismorresistente” (MVCS, 2018), con una aceleración sísmica efectiva horizontal (Z) igual a 0.35 g. Esta clasificación corresponde a regiones con actividad sísmica significativa, donde la ocurrencia de movimientos telúricos de gran magnitud es altamente probable. En consecuencia, toda infraestructura debe diseñarse para resistir solicitaciones sísmicas relevantes, incorporando criterios de seguridad y desempeño estructural estrictos, especialmente en el caso de estructuras críticas como presas destinadas al almacenamiento y regulación de recursos hídricos.

El estudio geofísico determinó que los valores de Vs30 (velocidad promedio de propagación de ondas de corte en los primeros 30 m del subsuelo) se encuentran entre 433 y 841 m/s, lo que indica una condición transicional entre los perfiles de suelo tipo S2 (intermedio) y suelo tipo S1 (muy rígido), definidos por la norma E.030. Esta variabilidad se relaciona con las diferencias litológicas presentes, que incluyen zonas con gravas densas, areniscas compactas y materiales de roca fracturada, cada uno con características mecánicas y de rigidez particulares. Los parámetros característicos según el tipo de suelo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros sísmicos según tipo de suelo

Parámetro	S1 – Suelo muy rígido	S2 – Suelo intermedio
Vs30 (m/s)	500 – 1500	180 – 500
Tipo de suelo	Roca fracturada, arena muy densa, grava arenosa densa, arcilla compacta	Arena densa, grava medianamente densa, suelo cohesivo compacto
S (Factor de amplificación)	1	1.15
TP (s)	0.4	0.6
TL (s)	2.5	2
N ₆₀	> 50	15 – 50
Su (kPa)	> 100	50 – 100
qu (kg/cm ²)	1 – 5	0.5 – 1

Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Mapa de zonificación sísmica del Perú según la NTP E.030.



Nota: NTP E.030 (MVCS, 2018) modificado con fines académicos.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Antecedentes referenciales

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

En la ingeniería geotécnica aplicada a presas, los métodos geofísicos han sido ampliamente utilizados para la caracterización del subsuelo y el monitoreo estructural, permitiendo evaluar el estado de las presas tanto en construcción como en operación.

Por su parte, Adamo, Al-Ansari, Sissakian, Laue y Knutsson (2020) en su trabajo de investigación *Geophysical Methods and their Applications in Dam Safety Monitoring* recopilan los métodos geofísicos más utilizados desde 1920 en la investigación de presas de tierra. Es importante acentuar que los ensayos geofísicos no solo indican la presencia de anomalías en la estructura de presas, como áreas de filtración o cambios en el contenido de humedad y densidad de los materiales, sino que también ayudan a detectar la naturaleza geológica de estos lugares y, por lo tanto, apoyan a la duración de la vida útil de este tipo de construcciones. Ellos clasificaron los métodos geofísicos utilizados en presas según se apliquen en superficie o en perforaciones. Entre los métodos aplicados en superficie se mencionaron el Perfilado Electromagnético (EM), TRE, Potencial Espontáneo (SP), Radar de Penetración Terrestre (GPR) y distintos métodos sísmicos, que incluyen ensayos como Refracción Sísmica, Tomografía de Refracción Sísmica, Reflexión Sísmica, MASW y Refracción por Microtremores (ReMi). Por último, entre los métodos mencionados que se utilizan en perforaciones destacan los ensayos sísmicos de Down Hole y Cross Hole. Además, mencionaron los ensayos de testificación geofísica, los cuales son un conjunto de métodos aplicados en perforaciones para obtener registros continuos de las propiedades físicas, obteniendo datos de su composición, estructura e hidrogeología sin la necesidad de extracción de muestras.

Un caso reciente de la aplicación de métodos geofísicos en el monitoreo de presas de relaves está en el trabajo de Vasconcelos y Andrade (2024) titulada *The Relationship Between Geophysical and Geotechnical Data: a Temporal Analysis of an Iron Ore Tailings*

Dam, en el que la relación entre los datos geofísicos y geotécnicos se evaluó en torno a una presa de relaves de mineral de hierro situada en Nova Lima, Brasil. Durante diez meses, los autores llevaron a cabo ensayos TRE con una configuración de tipo Schlumberger, complementada con mediciones piezométricas y observaciones meteorológicas. Los resultados mostraron que los valores de resistividad eléctrica están correlacionados significativamente con los niveles piezométricos, lo que permite hacer conclusiones acerca de la saturación del terreno y la filtración del agua. No obstante, el análisis por estadística indicó que la evaporación y la longitud de las mediciones no afectan la resistividad eléctrica; por lo tanto, es posible que otros procesos internos en las presas potencialmente presenten humedad y conductividad. En general, el estudio es relevante ya que demuestra la contribución de la geofísica en la geotecnia, aportando a la seguridad de las presas de relaves y previniendo posibles desastres.

Otro ejemplo reciente de la aplicación de los métodos geofísicos se encuentra en la presa Kirklartepe, en Turquía, donde los investigadores Sari, Seren y Alemdag (2020), en su estudio *Determination of Geological Structures by Geophysical and Geotechnical Techniques*, integraron métodos geofísicos como los ensayos TRE y la Tomografía de Refracción Sísmica, en conjunto con perforaciones diamantinas. En total, ejecutaron 9 líneas de TRE y 9 líneas de Tomografía de Refracción Sísmica, además de 280 m de perforación, distribuidos en ocho sondeos. Este estudio demuestra cómo estas técnicas permiten identificar estructuras geológicas críticas, estratigrafía y zonas de falla, garantizando un diseño más ajustado a las condiciones reales del terreno.

Asimismo, Gołębiowski, Piwakowski, Ówiklik y Bojarski (2021), en su artículo colaborativo *Application of Combined Geophysical Methods for the Examination of a Water Dam Subsoil*, exploran el uso combinado de los ensayos TRE, GPR, Refracción Sísmica, Reflexión Sísmica y MASW, junto con el método de Resistividad Acoplada Capacitiva (CCR), de uso menos extendido, pero con interesantes resultados. Los autores señalan que estas metodologías utilizadas de forma integrada condujeron a la identificación de fallas en la estructura de una presa localizada en la ciudad de Bielsko-Biala en Polonia, las

que podrían afectar su estabilidad. Es importante seguir un monitoreo minucioso y en tiempo real, en particular para presas antiguas como estas, en las que ya se han reconocido fallas anteriormente.

Estas referencias representan una perspectiva internacional y una base bibliográfica de enorme importancia, del que se partió para la elaboración de la tesis.

2.1.2 Antecedentes nacionales

A través del tiempo, el uso combinado de los métodos de prospección geotécnicos y geofísicos, han demostrado su relevancia, ya que determinan una garantía de seguridad y estabilidad de las estructuras durante su tiempo de vida. Una adecuada caracterización del terreno, actualmente contempla el conocimiento de sus propiedades y características geofísicas. A manera de ejemplo, Chumbe (2018) en su tesis titulada Aplicación de Métodos Geofísicos en los Estudios Geotécnicos para Centrales Hidroeléctricas, resalta la importancia de la aplicación de técnicas geofísicas tales como los ensayos TRE, Refracción Sísmica y MASW, las cuales permiten caracterizar las propiedades eléctricas y sísmicas del terreno de fundación. Su estudio resaltó la importancia de los métodos geofísicos como herramientas complementarias en la prospección geológica-geotécnica, reforzando su idoneidad en proyectos de ingeniería en general.

Por otro lado, Casco (2023) en su tesis Estudio geológico-geotécnico para el diseño de la Presa Tullpacancha, en la provincia de Churcampo, Huancavelica, combinó además de las metodologías tradicionales, tales como perforaciones diamantinas y ensayos de permeabilidad, técnicas geofísicas como ensayos TRE y Refracción Sísmica. Esto resulta en parámetros como resistividad eléctrica, velocidades de ondas sísmicas y módulos elásticos, que son indicativos indirectos de propiedades claves en los suelos, tales como la cohesión, resistencia al corte y permeabilidad, obteniendo una caracterización completa del suelo de fundación.

Finalmente, Vilca (2024) en su investigación titulada Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para Definir el Tipo de Presa en el Sector Tullpacancha-Huancavelica, hace uso de parámetros geotécnicos obtenidos mediante el uso de métodos

geofísicos en el análisis y diseño la presa Tullpacancha. Su estudio resaltó que estos datos permiten evaluar con mayor precisión el comportamiento del terreno, optimizando el diseño estructural y perfeccionando la toma de decisiones. Además, utilizó un método denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como una herramienta metodológica para determinar el tipo de presa más idóneo, evidenciando que la integración de información geofísica y geotécnica contribuyen a una selección más eficiente y segura de la estructura.

Estos antecedentes recopilan información relevante sobre la importancia de integrar metodologías geofísicas y geotécnicas en los estudios relacionados a presas a nivel nacional.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Métodos geofísicos

Constituyen técnicas de investigación no invasivas que posibilitan el análisis de las propiedades físicas del subsuelo a través de la medición de diversas magnitudes físicas del terreno (Kearey, Brooks y Hill, 2002).

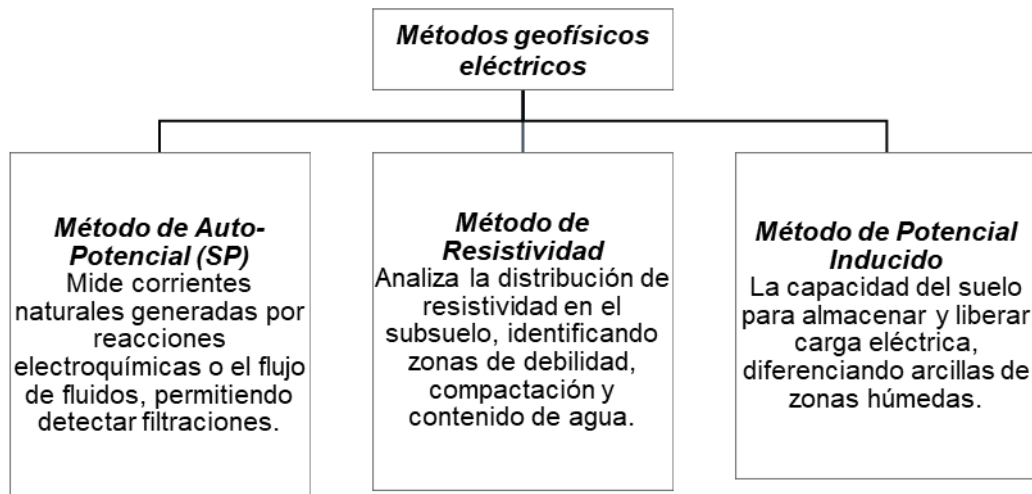
Los métodos geofísicos modernos tienen el potencial de proporcionar información espacial o incluso volumétrica sobre la estructura interna del subsuelo y las variaciones de las propiedades en los accidentes geográficos, los suelos y los ecosistemas. Esto contrasta con los métodos de mapeo, como la teledetección o la fotografía aérea, que están limitados a proporcionar información de la superficie, así como con los métodos intrusivos (por ejemplo, perforaciones) que solo brindan información del subsuelo en ubicaciones puntuales (Kneisel, Uhlemann y Chambers, 2023).

Los métodos geofísicos se han utilizado ampliamente en la investigación de presas, tanto en proyectos de construcción de presas como en la evaluación del estado de las estructuras de presas existentes. Existen muchos métodos diferentes, la selección de los métodos más adecuados para un problema en particular generalmente dependerá de las condiciones regionales y locales del sitio, la naturaleza del problema, el tiempo y el costo (Fell, MacGregor, Stapledon, Bell y Foster, 2015). Seguidamente se describen los más importantes.

2.2.1.1 Métodos eléctricos. De acuerdo con Hickey, Römckens, Wells y Wodajo (2015) los métodos eléctricos en geofísica emplean corriente continua o alterna de baja frecuencia para analizar el subsuelo sin necesidad de excavaciones, siendo fundamentales en la evaluación de presas y diques. Se les puede dividir en 3 categorías, según la Figura 6.

Figura 6

Métodos geofísicos eléctricos.



Nota: Elaboración propia

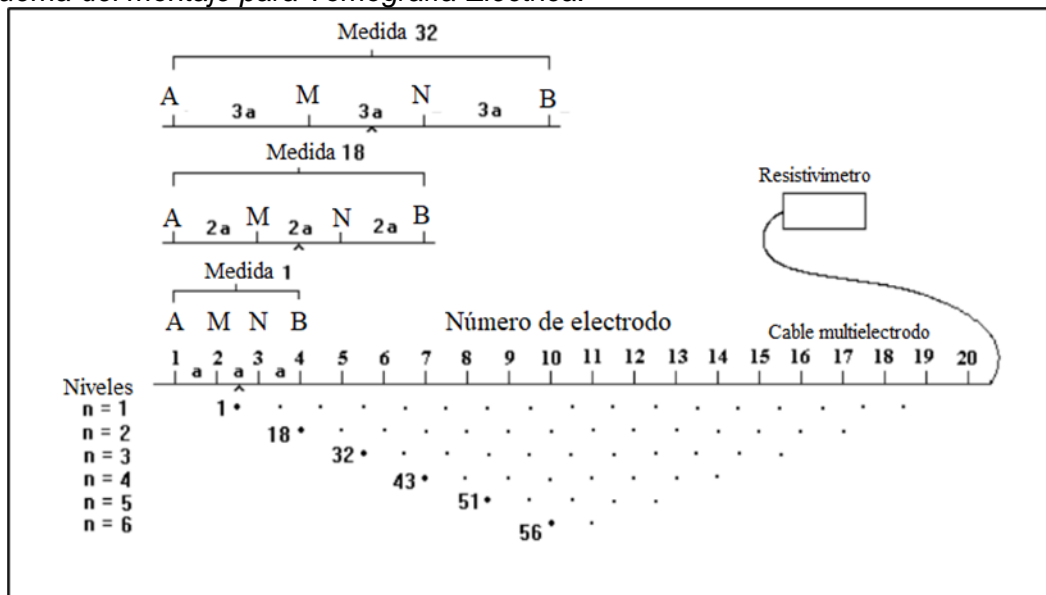
Los métodos de resistividad eléctrica, son los más utilizados en presas y diques, y consisten en introducir corriente mediante electrodos midiendo luego diferencias de potencial en la superficie para identificar capas y anomalías. Su valor depende del contenido de agua, concentración iónica, porosidad y conectividad de poros, donde baja resistividad indica zonas saturadas o arcillosas, mientras que alta resistividad sugiere materiales secos o compactos. Los métodos de resistividad más utilizados son:

2.2.1.1.1 Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE). También conocido como “perfilado eléctrico”, se utiliza para determinar variaciones laterales de resistividad. Se utilizan varillas metálicas que se entierran en el suelo, nombradas electrodos que sirven de contacto eléctrico con la superficie del suelo. Algunos electrodos sirven inyectar una corriente eléctrica y otros para medir la diferencia de potencial eléctrico generado por los electrodos de corriente.

Los electrodos de corriente y potencial se mantienen a una separación fija y se desplazan progresivamente a lo largo de un perfil. La forma y posiciones en que estos electrodos se separan y se desplazan se denominan arreglos (Dobrin y Savit, 1988). En la Figura 9 se ven distintos arreglos existentes, los métodos TRE y SEV comparten estos tipos de arreglos, sin embargo, los ensayos TRE dan información en forma lineal a través de perfiles y los ensayos SEV dan información de manera puntual. La Figura 7 es un ejemplo de una posible secuencia de mediciones para una configuración Wenner de 20 electrodos. En este ejemplo, el espacio entre electrodos adyacentes es "a".

Figura 7

Esquema del montaje para Tomografía Eléctrica.

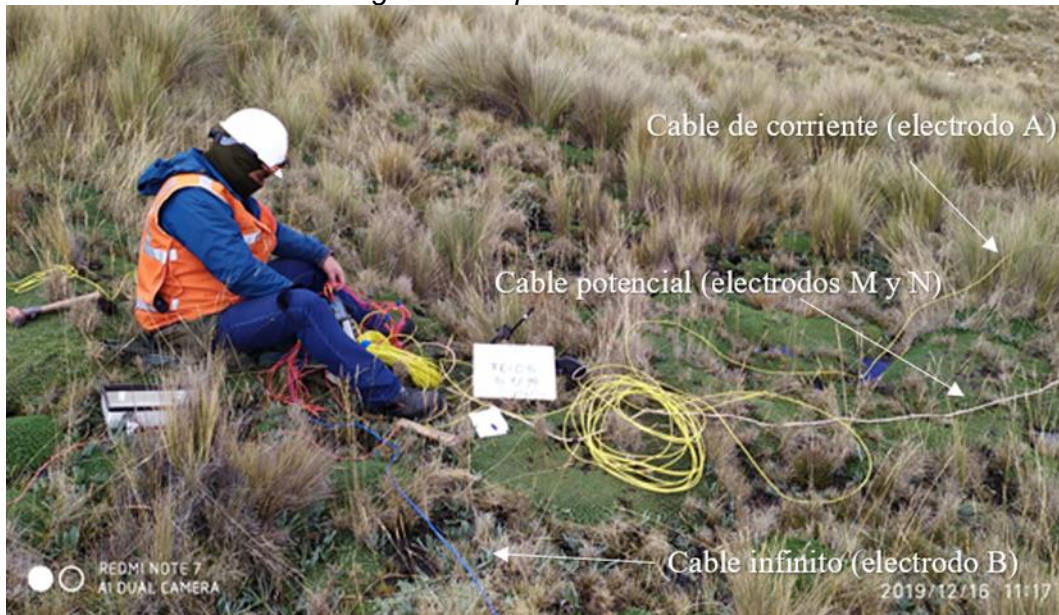


Nota: Locke (2021) modificado con fines académicos.

En la Figura 8, se observa a un operador realizando mediciones de campo utilizando el tipo de arreglo Polo-Dipolo (ver esquema "d" de la Figura 9). En este tipo de arreglo, el electrodo B se lleva a gran distancia de los otros tres electrodos (teóricamente en el infinito). La distancia entre M y N se denomina "a" y el espacio entre los electrodos N y A, se da en términos de múltiplos enteros de "a", denominado "n". El valor de "n" es directamente proporcional con la profundidad de investigación y aumenta conforme se avanza el ensayo. Este tipo de arreglo es muy utilizado en investigación geotécnica de presas (Locke, 2021).

Figura 8

Toma de datos utilizando el arreglo Polo-Dipolo.



Nota: Elaboración propia.

Este método se emplea en la prospección para localizar fallas, zonas de cizalla y detectar cuerpos localizados con conductividad anómala. También se usa en estudios geotécnicos para identificar variaciones en la profundidad del basamento rocoso y la presencia de discontinuidades abruptas. Los resultados de una serie de recorridos TRE con un espaciado fijo de electrodos pueden utilizarse para la elaboración de mapas de contorno de resistividad (Kearey, Brooks y Hill, 2002).

La resistividad del suelo está relacionada con varios parámetros geológicos, tales como el contenido de minerales, la porosidad y el grado de saturación de agua en la roca. Los estudios de resistividad eléctrica se han utilizado durante muchas décadas en el ámbito hidrogeológico, en minería, en geotecnia, en medio ambiente e incluso en exploración de hidrocarburos (Locke, 2021).

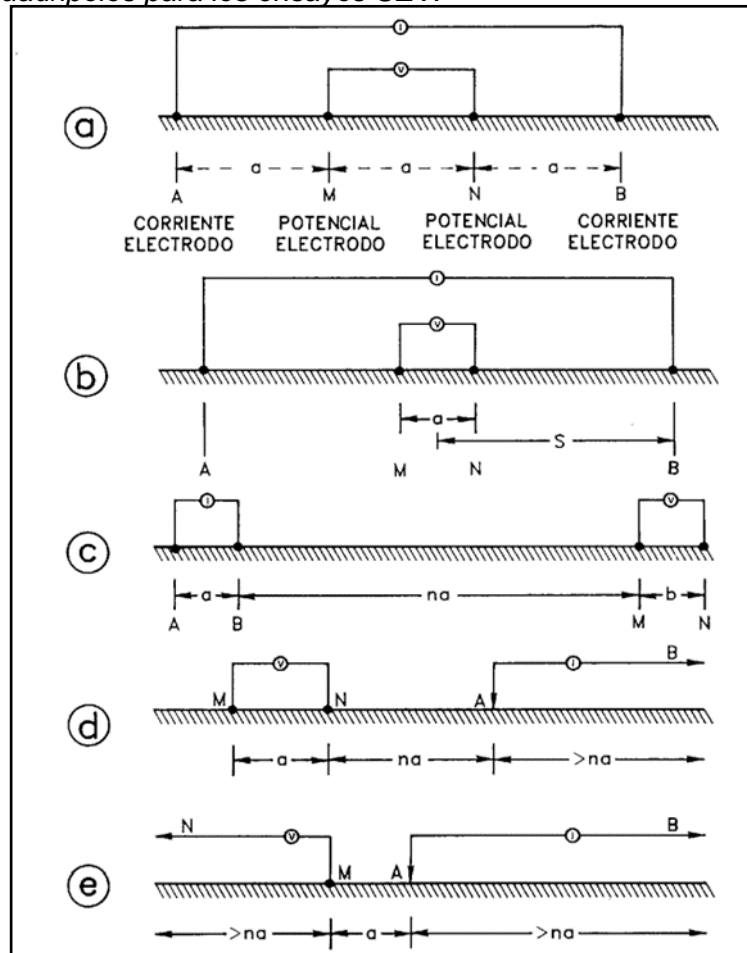
2.2.1.1.2 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). También conocido como "perforación eléctrica", se utiliza principalmente en el estudio de interfaces horizontales o casi horizontales. Se utilizan electrodos igualmente que en los ensayos TRE. Los electrodos de corriente y potencial se mantienen a una separación relativa constante y se expanden progresivamente alrededor de un punto central fijo. A medida que la corriente

eléctrica alcanza profundidades mayores, se registran las lecturas correspondientes. Esta técnica se emplea ampliamente en estudios geotécnicos para determinar el espesor de la cobertura superficial y en hidrogeología para identificar zonas horizontales de estratos porosos (Kearey, Brooks y Hill, 2002).

Las configuraciones posibles de electrodos o arreglos, reciben los siguientes nombres: Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo y Polo-Polo (Dobrin y Savit, 1988). En la Figura 9 se muestran estas configuraciones en los esquemas “a”, “b”, “c”, “d” y “e” respectivamente.

Figura 9

Esquemas de cuadripolos para los ensayos SEV.



Nota: Dobrin y Savit (1988) modificado con fines académicos.

2.2.1.2 Métodos sísmicos. Los métodos sísmicos para la investigación del subsuelo se basan en el hecho de que las ondas elásticas en el suelo y la roca viajan con diferentes velocidades de propagación. El procedimiento para las investigaciones sísmicas

implica la generación de ondas elásticas utilizando una fuente de energía sísmica, como explosivos, caída de pesos o martillos de percusión, y la medición del tiempo de llegada de la onda elástica en varios puntos utilizando transductores electromecánicos llamados geófonos (Hickey, Römckens, Wells y Wodajo, 2015). Entre los métodos sísmicos más destacados se encuentran el método de Refracción Sísmica y el MASW. La adquisición de datos en campo tiene una metodología parecida, en la Figura 10 podemos ver un tendido típico que podría aplicarse a ambos casos.

Figura 10

Vista de campo del tendido típico para Refracción Sísmica y MASW.



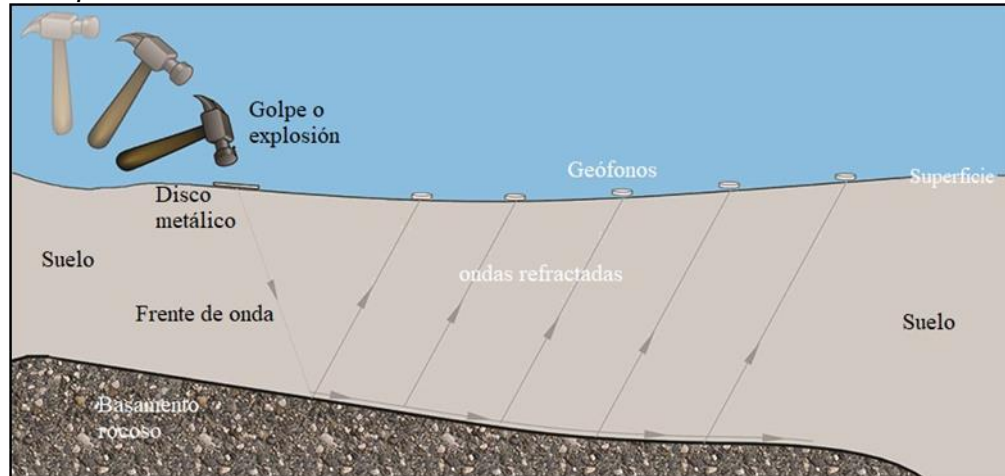
Nota: Elaboración propia.

2.2.1.2.1 Refracción sísmica. El método de Refracción Sísmica emplea energía sísmica que regresa a la superficie tras viajar por trayectorias refractadas en el subsuelo. La primera llegada de energía a un detector representa una onda directa o refractada, permitiendo estudios centrados en su registro inicial. A partir de gráficos tiempo-distancia, se determina la profundidad de las interfaces refractantes. Este método es útil para

identificar capas con diferentes velocidades sísmicas y también aplicable en casos donde la velocidad varía gradualmente con la profundidad o lateralmente (Kearey, Brooks y Hill, 2002). Se observa un esquema típico para el ensayo de Refracción Sísmica en la Figura 11.

Figura 11

Esquema típico de Refracción Sísmica.



Nota: Brewer (2015) modificado con fines académicos.

Es un método geofísico de gran utilidad, cuyas primeras aplicaciones fueron principalmente para la determinación de la profundidad del lecho de roca en el subsuelo desde 1959 aproximadamente. El método también se ha utilizado con éxito para la ubicación de zonas de debilidad, tales como zonas de corte y fallas. El principio de Refracción Sísmica se basa en la propagación de la onda P, originada mediante súbitas deformaciones del terreno en la superficie (disparos de escopeta, voladura o iterativos golpes de una comba sobre una placa metálica colocada sobre el suelo).

El fenómeno de deformación del terreno, genera frentes de onda que viajan por el subsuelo. Estas ondas sísmicas, al encontrar interfaces entre dos medios con propiedades elásticas diferentes, provocan que parte de su energía continúe penetrando a mayor profundidad y otra parte viaje por la interfaz y regrese a la superficie donde es registrada por los geófonos (Sjögren, 1979).

La onda P llega a los geófonos pasado un tiempo "ti" denominado "Tiempo de arribo", que va a depender principalmente de la distancia "di", comprendida entre el punto

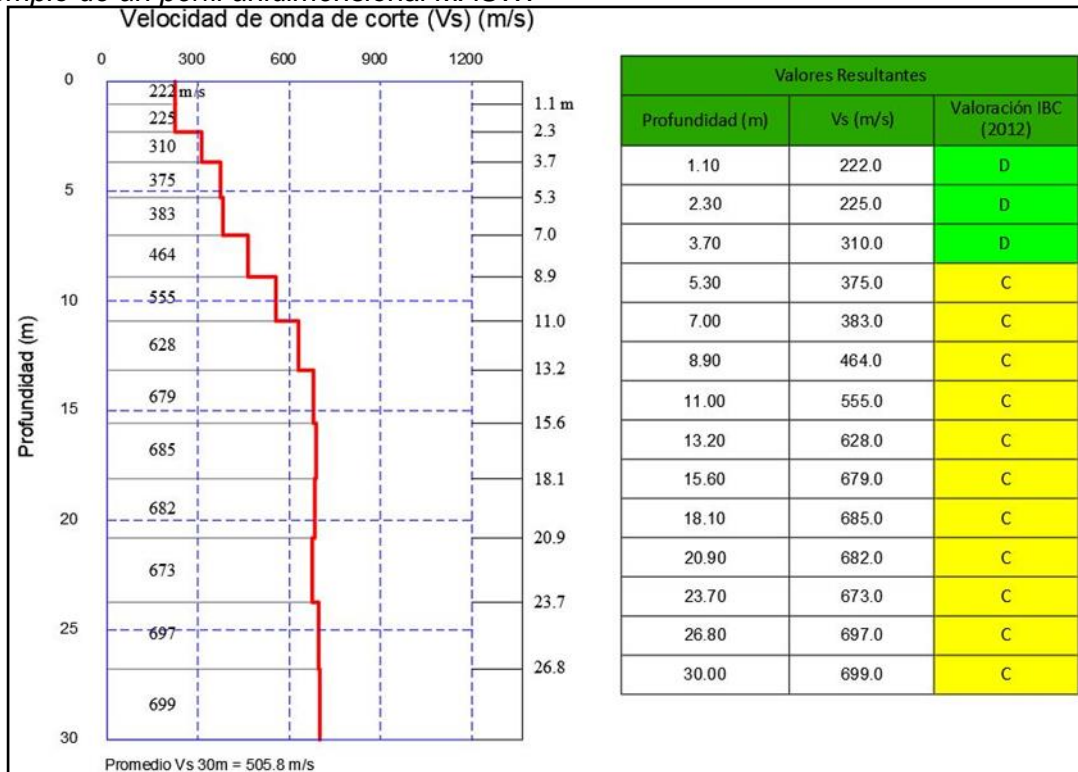
de disparo y su recorrido por el subsuelo hasta llegar al geófono. Sin embargo, este tiempo se ve afectado por las propiedades de elasticidad y densidad del medio por el cual viaja. Cabe señalar que el método de Refracción Sísmica está limitado a determinar capas de velocidades crecientes con las profundidades de investigación. Una vez establecidos los objetivos de la exploración sísmica y determinado el lugar del levantamiento, en cada línea sísmica se fijan los intervalos de espaciamiento Fuente-Geófonos (según se disponga en campo) y Geófono-Geófono, con la finalidad de obtener la mayor precisión en los tiempos de arribo en cada geófono a partir de la señal sísmica y lograr la profundidad requerida en los objetivos.

2.2.1.2.2 Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). Durante los estudios sísmicos activos, aproximadamente el 70% de la energía de la fuente se propaga como ondas Rayleigh, que constituyen el principal componente del "ruido de suelo". El método MASW se basa en que las ondas S son las componentes dominantes dentro de la onda Rayleigh, permitiendo analizar el subsuelo a partir de su propagación. Su disposición de campo es similar a la Refracción Sísmica, pero emplea geófonos de menor frecuencia (4 Hz), y su espaciado y longitud de propagación determinan la profundidad de investigación. Los datos adquiridos se procesan con software especializado, transformando cada disparo al dominio frecuencia-número de onda (f-k) mediante un modelo matemático que utiliza transformadas de Fourier. Esto genera una curva de dispersión, que describe la variación de la velocidad de las ondas en función de la profundidad. A diferencia de la Refracción Sísmica, el MASW genera perfiles unidimensionales de la distribución de velocidades de ondas S (V_s) (Hickey, Römckens, Wells y Wodajo, 2015).

Afirma Park (2013) que el método Análisis Multicanal de Ondas Superficiales o MASW, es un método sísmico 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 lo conforman, tal como se presenta en la Figura 12.

Figura 12

Ejemplo de un perfil unidimensional MASW.



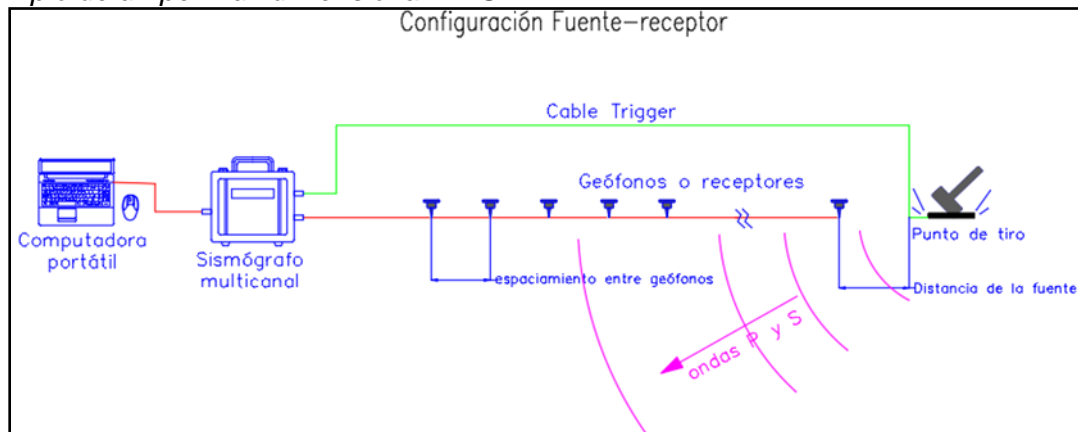
Nota: Elaboración propia con el software Surface Wave Analysis Wizard 3.14.

La ubicación de los dispositivos para el ensayo MASW se presenta en la Figura 13.

Se generan los golpes a una distancia predeterminada del tendido.

Figura 13

Ejemplo de un perfil unidimensional MASW.



Nota: Sjögren (1979) modificado con fines académicos.

La interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un gráfico de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales ya que su velocidad de fase se

aproxima en un 90 a 95% al valor de la V_s , y mediante un cálculo inverso iterativo (método de inversión) se obtiene el perfil unidimensional de la V_s , a partir de la curva de dispersión calculada, conforme al modelo anteriormente presentado en la Figura 12.

La obtención de perfiles unidimensionales de velocidad de onda de corte (V_s) permite caracterizar el subsuelo de acuerdo con criterios normativos internacionales y nacionales. A nivel internacional, esta clasificación se establece en el International Building Code (IBC 2012) (ICC, 2012), mientras que en el ámbito nacional se aplica la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018). Las categorías de suelo definidas en ambas normativas se presentan en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3

Clasificación sísmica de suelos según el International Building Code (ICC, 2012).

Clasificación Sísmica IBC (2012)			
Tipo de suelo	Denominación del suelo	Velocidad de Ondas de Corte V_{s30}(m/s)	Resistencia a la Penetración estándar SPT (N)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca o suelo muy rígido	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	N50
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Nota: Tomado de ICC (2012).

Tabla 4

Clasificación sísmica de suelos según la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018).

Clasificación Sísmica NTP E.030 (2018)		
Tipo de suelo	V_{s30}(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Nota: Tomado de MVCS (2018).

2.2.2 Caracterización del subsuelo

Son un conjunto de actividades que implican determinar la distribución lateral y el espesor de los estratos de suelo y roca dentro de la zona de influencia de una construcción, así como evaluar las condiciones del agua subterránea, considerando los cambios estacionales y los efectos de la construcción. Además, se analizan las propiedades físicas e ingenieriles de los suelos y formaciones rocosas, junto con la calidad del agua subterránea. También se identifican condiciones peligrosas, como taludes inestables, fallas activas o potencialmente activas, sismicidad regional, zonas de inundación, subsidencia del terreno, colapso y expansión del suelo. Asimismo, se estudia la respuesta del terreno a cambios naturales y a cargas inducidas por la construcción, tales como cargas superficiales de estructuras, descargas por excavaciones superficiales o subterráneas y descargas por la extracción de recursos minerales. Finalmente, se evalúa la idoneidad de los materiales geológicos para su uso como agregados y para la construcción de pavimentos y terraplenes (Hunt, 2005).

El estudio de caracterización del subsuelo es esencial en cualquier proyecto de construcción, ya que las características del terreno pueden influir en la estabilidad y seguridad de la obra. Existen dos formas de abordar la geotecnia en un proyecto. El primer enfoque, que es el más tradicional, consiste en diseñar la estructura sin analizar primero el suelo. Luego, se realizan estudios geotécnicos para verificar si el diseño es viable o si necesita modificaciones. Este método puede causar problemas, como sobrecostos y retrasos, si el terreno no es adecuado para la estructura planteada. El segundo enfoque, que es el más recomendable, considera la geotecnia desde el inicio del proyecto. En este caso, se estudian las condiciones del suelo antes del diseño, permitiendo que la estructura se adapte a la capacidad del terreno. Esto ayuda a evitar riesgos, reducir costos y mejorar la estabilidad de la construcción. Además, la geotecnia no solo debe aplicarse en la fase de diseño, sino también que debe mantenerse a lo largo de todo el proyecto, incluyendo la

construcción y el mantenimiento. Dividir la investigación en diferentes etapas permite obtener datos más precisos y útiles, facilitando la toma de decisiones a medida que avanza la obra (Look, 2007).

Para caracterizar apropiadamente el terreno donde se proyecta construir una presa, es muy importante emplear múltiples técnicas de investigación geotécnica y geofísica. Utilizar tan solo un método de exploración podría resultar insuficiente, ya que difícilmente se obtenga información completa y confiable sobre las condiciones del terreno. Además, el uso de diversas metodologías permite validar los resultados entre sí, mejorar la precisión de la interpretación y, en muchos casos, optimizar los costos al evitar errores de diseño o sobreestimaciones innecesarias (Fell, MacGregor, Stapledon, Bell y Foster, 2015).

2.2.3 Diseño de una presa

El diseño de una presa es un proceso multidisciplinario que considera la planificación, dimensionamiento y especificación de los componentes estructurales de una obra hidráulica cuya función principal es contener, regular o desviar el flujo de agua en ríos u otros cauces. Este proceso integra aspectos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos, estructurales y ambientales, con el objetivo de garantizar la seguridad, funcionalidad y eficiencia de la presa durante su vida útil. La importancia del diseño de una presa radica en su impacto económico y social, ya que su construcción implica costos significativos, pero también grandes beneficios derivados del almacenamiento y regulación del agua. Además, es fundamental evaluar los riesgos asociados a su posible colapso, tanto en términos de pérdidas materiales como de afectaciones humanas (Haramboure, 2021).

El caso del diseño de presas de tierra y enrocado implica muchas consideraciones que deben ser evaluadas antes de iniciar el análisis detallado de estabilidad. Tras realizar exploraciones geológicas y del subsuelo, es fundamental estudiar cuidadosamente los materiales de tierra y/o enrocado disponibles para la construcción. El estudio debe incluir la determinación de las cantidades de los diferentes tipos de materiales que estarán disponibles, así como la secuencia en la que estarán accesibles. Además, es necesario comprender en profundidad sus propiedades físicas. No realizar este estudio puede llevar

a suposiciones erróneas que deberán ser corregidas posteriormente. Por ejemplo, en un proyecto inicial, se diseñó una presa de enrocado utilizando arenisca en los núcleos de enrocado. Sin embargo, investigaciones posteriores revelaron que la arenisca se desintegraba durante la excavación y compactación, por lo que fue necesario rediseñar el dique como una presa de tierra (U.S. Army Corps of Engineers, 1994).

En el diseño de presas sobre terrenos donde predomina la arenisca, Fell, MacGregor, Stapledon, Bell y Foster (2015) señalan que este tipo de roca presenta condiciones geotécnicas que deben analizarse con especial cuidado. La arenisca suele tener una porosidad elevada y alta permeabilidad, lo que facilita el paso del agua a través de ella y afecta su comportamiento hidráulico. En algunos casos, el material que une los granos de la roca está compuesto por minerales poco durables, como el yeso o la anhidrita, lo que acelera su deterioro con el tiempo. Además, dentro de las formaciones de areniscas es común la presencia de capas delgadas de lutitas, que funcionan como planos de debilidad y pueden comprometer la resistencia del macizo rocoso.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Permeabilidad

Es una medida de la capacidad de un material para permitir el paso de fluidos a través de sus poros o fracturas. Es un parámetro clave en hidrogeología y en el diseño de presas, ya que afecta la estabilidad y la filtración en los materiales subyacentes (Bear, 1988).

Esta propiedad se cuantifica mediante el coeficiente de permeabilidad (k), también conocido como coeficiente de conductividad hidráulica, el cual se expresa comúnmente en términos de la ley de Darcy para condiciones de flujo laminar en medios saturados y homogéneos. Su formulación matemática es: $k = q / (iA)$ donde q representa el caudal (cm^3/s), i el gradiente hidráulico (adimensional), y A el área transversal de flujo (cm^2). Este coeficiente se expresa generalmente en cm/s o ft/día , y permite evaluar la facilidad con la que un fluido se desplaza a través del medio geológico. Asimismo, se reconoce el concepto

de permeabilidad secundaria, el cual hace referencia al flujo que ocurre a través de masas rocosas fracturadas, en contraste con el flujo en muestras de roca intacta (Hunt, 2005).

2.3.2 Ensayo Lefranc

Este ensayo se realiza con el objetivo de medir la permeabilidad de un suelo o roca. Para ello, se hace primero una perforación en el terreno, generando una cavidad o hueco de forma y dimensiones controladas. Esta cavidad se rellena con un material granular (como grava o arena gruesa), que es mucho más permeable que el suelo natural. Este relleno, conocido como filtro granulado o filtro de grava, permite que el agua fluya hacia el suelo circundante de forma más homogénea y controlada. El experimento se realiza por debajo del nivel freático o piezométrico, es decir, en condiciones en las que el suelo ya se encuentra saturado. Una vez instalado el sistema, se introduce agua en la cavidad con una presión o carga hidráulica que puede mantenerse constante o variar durante el ensayo. Este procedimiento contempla tres métodos que son el de carga constante, el de carga variable descendente y el de carga variable ascendente (Bureau de Normalisation du Québec, 2014).

2.3.3 Inyección de lechada de cemento

Es un método de mejoramiento del terreno que consiste en introducir, bajo presión controlada, una mezcla fluida de cemento Portland y agua dentro de fracturas, fisuras o vacíos del macizo rocoso o suelo, con el objetivo de sellar las discontinuidades y reducir la permeabilidad del terreno. Es una técnica esencial en la construcción de presas, especialmente para formar cortinas de inyección bajo el núcleo o cuerpo de la estructura, previniendo filtraciones que comprometan su estabilidad. La mezcla se adapta según las condiciones del terreno, variando la relación entre el agua y el cemento, para optimizar la penetración y el sellado, comenzando con mezclas diluidas que se van espesando conforme avanza la inyección o se alcanza la presión de rechazo. Este proceso requiere supervisión especializada, ya que el control de presión es clave para evitar fracturamientos no deseados o fugas de lechada. Las presiones de inyección se definen generalmente en función de la profundidad, siguiendo guías prácticas que equilibran eficacia e integridad

del terreno. Mediante este procedimiento se consolidan los materiales de cimentación, se aumenta su resistencia, y se controla eficazmente el flujo de agua subterránea, previniendo fenómenos como el piping o erosión interna, que representan riesgos críticos para la seguridad de la presa (Karol, 2003).

2.3.4 Inversión de datos geofísicos

La inversión de datos geofísicos es un proceso matemático y computacional que estima parámetros físicos del subsuelo, tales como resistividad eléctrica o velocidad de onda sísmica, a partir de mediciones de campo obtenidas mediante métodos indirectos. A partir de un modelo inicial basado en hipótesis físicas, se ajustan los parámetros del modelo hasta que las respuestas simuladas coincidan, dentro de márgenes de error aceptables, con los datos observados. Este proceso no busca validar un modelo teórico general, sino determinar parámetros específicos que describan las condiciones locales del subsuelo. Puede adoptar enfoques deterministas, que buscan una única solución óptima, o probabilísticos, que consideran la incertidumbre de los datos y ofrecen un rango de soluciones posibles, evaluando la “bondad” o confiabilidad del modelo resultante. En la Figura 14 se presenta un ejemplo de pseudosección de resistividad aparente medida (perfil superior), que constituye el insumo inicial para la interpretación, acompañada de la pseudosección calculada (perfil del medio) y del modelo de resistividad invertido (perfil inferior), lo que permite visualizar la transición desde los datos crudos de resistividad aparente hasta la estimación de la resistividad real del subsuelo. Este flujo ilustra cómo la inversión transforma datos observacionales en modelos geofísicos cuantitativos y espacialmente coherentes, herramienta esencial en proyectos de geotecnia y obras civiles, como el diseño de presas o cimentaciones profundas (Menke, 2024).

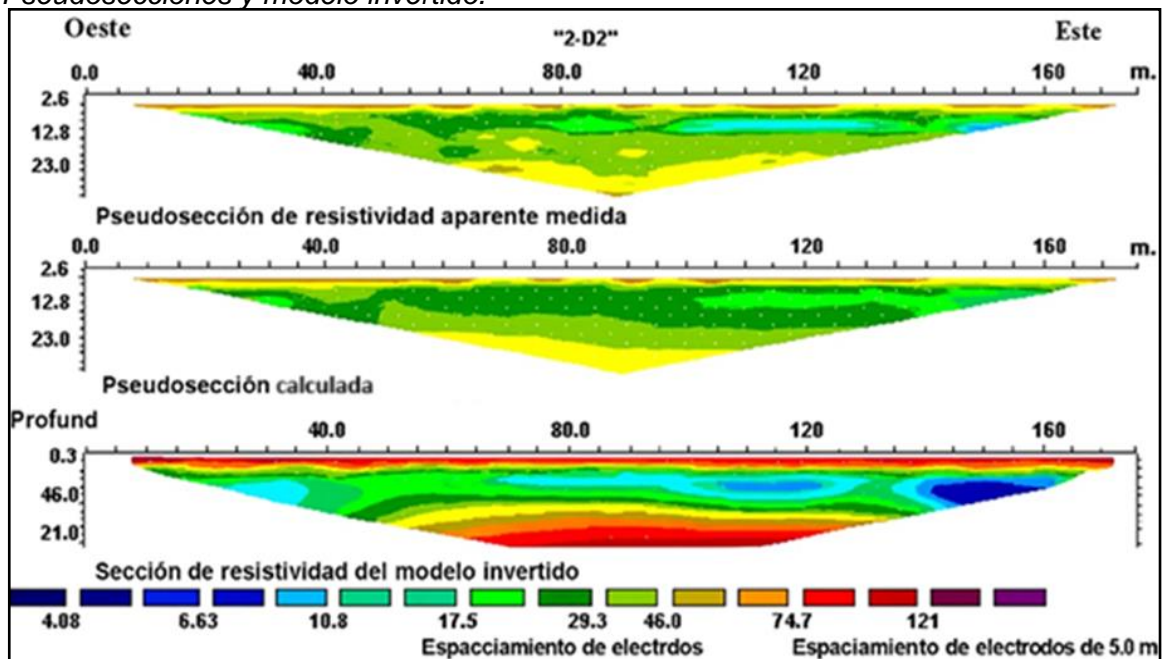
2.3.5 Resistividad aparente

Se define como un parámetro eléctrico calculado indirectamente a partir de mediciones de voltaje y corriente inyectada en el terreno, que representa la resistividad que tendría un medio homogéneo e isótropo capaz de producir la misma relación voltaje–corriente que la observada experimentalmente. Se expresa en ohmios-metro ($\Omega \cdot m$) y se

obtiene multiplicando la resistencia medida en campo por un factor geométrico, el cual depende de la configuración y del espaciamiento de los electrodos (ver Figura 9). Este valor corresponde a un promedio ponderado de la resistividad del volumen de terreno investigado y está condicionado por la heterogeneidad del subsuelo, por lo que generalmente difiere de la resistividad verdadera, salvo que los materiales sean eléctricamente uniformes. Por ello, los valores representativos de resistividad de las capas se interpretan a partir de una serie de mediciones realizadas con espaciamientos variables de los electrodos. Aunque la resistividad aparente puede ser un buen indicador del tipo de material presente, no constituye un identificador único. En la Figura 14 se presenta un ejemplo de pseudosección de resistividad aparente medida (perfil superior). En conjunto, la resistividad aparente es un parámetro esencial para la construcción de modelos geofísicos preliminares, los cuales posteriormente se refinan mediante procesos de inversión de datos para aproximarse a la resistividad real de las formaciones geológicas del área de estudio (ASTM International, 2018).

Figura 14

Pseudosecciones y modelo invertido.



Nota: Thabet, Kotb, Khaled y Amria (2020) modificado con fines académicos.

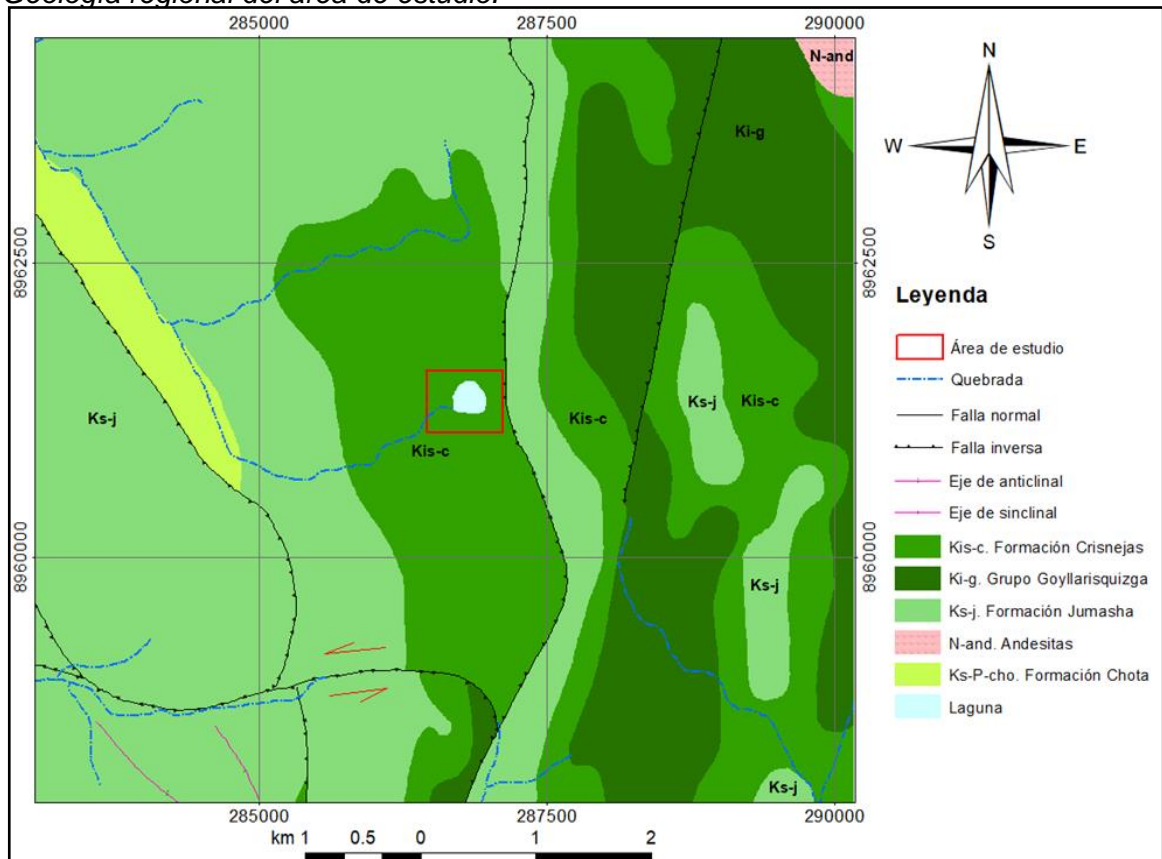
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Marco geológico

La zona de estudio se localiza en el cuadrángulo geológico de Singa (Hoja 19-j), en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca, provincia de Huari, región Áncash. Este sector forma parte del sistema orogénico andino central, cuya evolución geológica ha estado marcada por procesos de sedimentación mesozoica, deformación tectónica compresiva y modelado glacial cuaternario. De acuerdo con Jacay (1996), el área está constituida principalmente por rocas sedimentarias del Cretácico, así como por depósitos cuaternarios vinculados a dinámicas fluviales, glaciares y movimientos en masa. Este marco geológico regional constituye la base para el análisis local desarrollado en el área del proyecto. La Figura 15 muestra la distribución de las unidades geológicas a escala regional y la nomenclatura utilizada.

Figura 15

Geología regional del área de estudio.



Nota: Modificado de Jacay (1996).

En el área de la Laguna Arín se identificó una secuencia litológica compuesta principalmente por rocas sedimentarias aflorantes y detectadas en perforaciones, parcialmente cubiertas por depósitos cuaternarios. La unidad más antigua corresponde a areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga, presentes en superficie y en el subsuelo del eje de presa. En laderas altas afloran calizas y margas de las Formaciones Crisnejas y Jumasha, no interceptadas en perforaciones, con rasgos de meteorización kárstica, fracturamiento y permeabilidad secundaria. En zonas bajas, cercanas a la laguna y quebradas afluentes, predominan depósitos cuaternarios no consolidados de origen glaciar, coluvial, lacustre y aluvial, compuestos por arcillas, arenas, gravas y bloques, con comportamiento geotécnico variable según compactación, pendiente y humedad. Esta configuración condiciona el diseño estructural, la ubicación de la presa, la estabilidad de taludes y el control de infiltraciones.

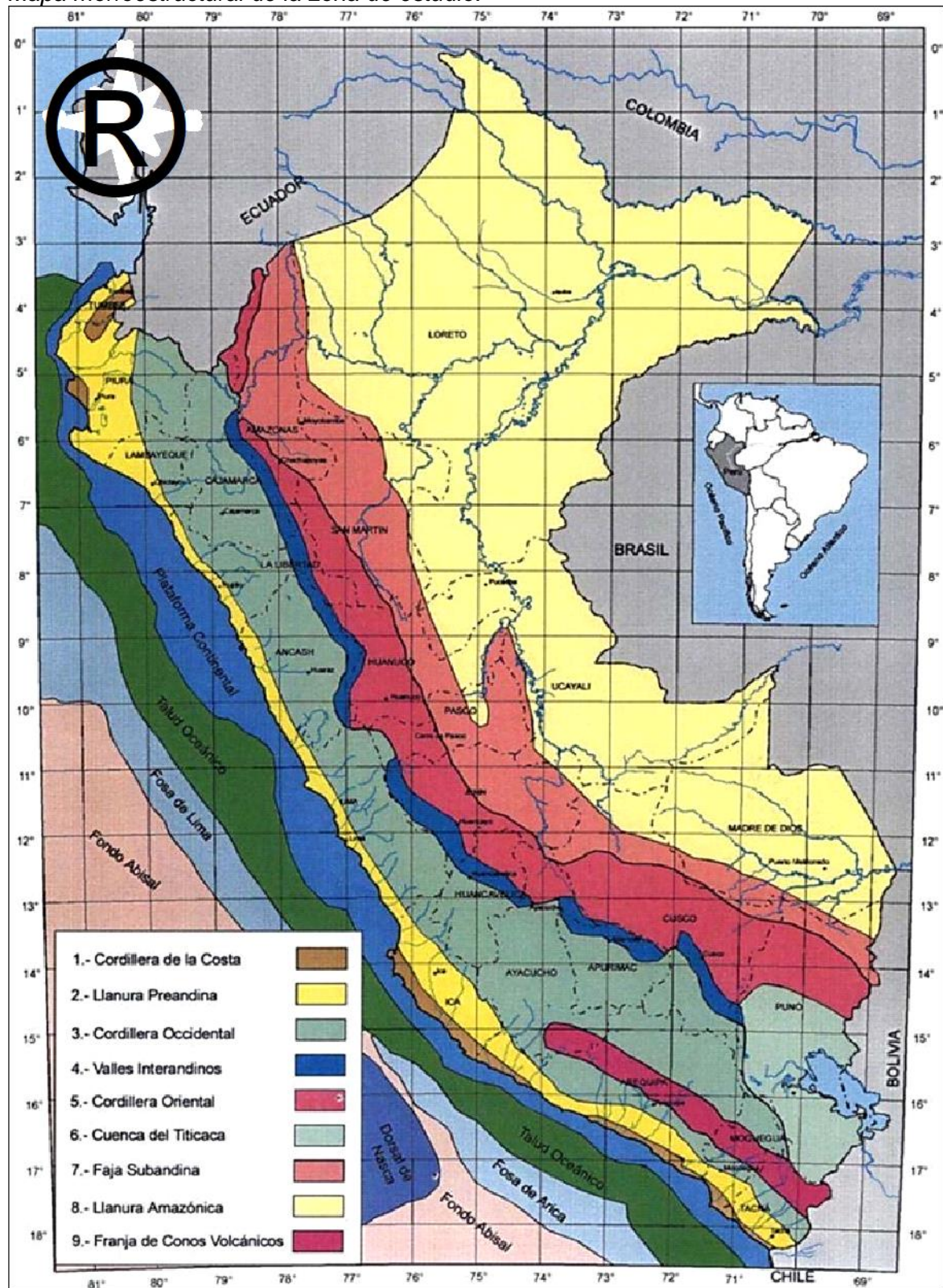
3.1.1 Geomorfología

La cuenca de la Laguna Arín se encuentra emplazada en la unidad morfoestructural de Cordillera Occidental, ubicada al este de la Cordillera Blanca, en la provincia de Huari, región Ancash. El relieve es montañoso, con altitudes que oscilan entre 3 900 y 4 500 msnm, lo cual refleja un entorno tectónicamente activo y geomorfológicamente complejo. Véase la Figura 17.

La morfología predominante del valle responde a un proceso de modelamiento glaciar ocurrido durante el Pleistoceno. Esto se manifiesta en la presencia de valles de perfil transversal en forma de "U", con fondos amplios, base aplanada y flancos abruptos. Estas formas son resultado del paso de antiguos glaciares que produjeron cubetas de sobreexcavación, donde hoy se ubican cuerpos de agua como la Laguna Arín. Además, se reconocen depósitos morrénicos, lacustres, aluviales y acumulaciones coluviales en las laderas inferiores y zonas de piedemonte.

Figura 16

Mapa morfoestructural de la zona de estudio.



Nota: Modificado de León, Palacios, Vargas y Sánchez (1999).

Para la descripción geomorfológica del área del proyecto se adoptó una clasificación que agrupa las unidades del terreno según su génesis y morfología, identificadas durante el reconocimiento de campo. Dicha clasificación comprende:

- Montañas en roca sedimentaria.
- Abanicos coluviales
- Llanura y relleno lacustre
- Complejos glaciares o morrénicos
- Terrazas aluviales

A continuación, se describen estas unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

3.1.1.1 Montañas en roca sedimentaria. Constituyen las zonas topográficamente más elevadas del área de estudio y corresponden a afloramientos de rocas sedimentarias. Presentan pendientes pronunciadas, crestas irregulares y laderas abruptas, modeladas por la disección glacial y la acción erosiva actual. Su morfología evidencia la resistencia diferencial de las distintas litologías, así como el grado y orientación de su fracturamiento. Ver Figura 17.

Figura 17

Unidad geomorfológica montañas en roca sedimentaria.



Nota: Elaboración propia.

3.1.1.2 Abanicos coluviales. Se localizan al pie de las laderas de las montañas sedimentarias, conformando abanicos de acumulación y depósitos de pie de monte que se extienden hacia la base del valle. Están compuestos por materiales de transporte muy corto, heterométricos, con clastos angulosos a subangulosos, de mala selección granulométrica y embebidos en una matriz arenosa o limosa. Su génesis está asociada a procesos gravitacionales activos y pasivos, tales como la caída de rocas, la reptación de suelos y los flujos de detritos generados durante precipitaciones intensas o eventos torrenciales. La Figura 18, presenta un abanico coluvial dentro del área de estudio.

Figura 18

Unidad geomorfológica abanicos coluviales.



Nota: Elaboración propia.

3.1.1.3 Llanura y relleno lacustre. Ocupan el sector central del valle, se asocian al actual cuerpo de agua y antiguos niveles lacustres. Están compuestos predominantemente por arcillas y limos de coloraciones grisáceas a marrones, con laminación fina, intercalaciones esporádicas de arenas muy finas y estructuras sedimentarias propias de ambientes de baja energía. Ver Figura 19.

Figura 19

Unidad geomorfológica llanura y relleno lacustre.



Nota: Elaboración propia.

3.1.1.4 Complejos glaciares o morrénicos. Se ubican en sectores intermedios y bajos del valle, formados por acumulaciones heterométricas de origen glaciar con matriz limosa–arenosa y clastos angulosos, correspondiendo a morrenas laterales y terminales de antiguos frentes glaciares. Véase la Figura 20.

Figura 20

Unidad geomorfológica complejo glaciar.



Nota: Elaboración propia.

3.1.1.5 Terrazas aluviales. Se desarrollan a lo largo del cauce que drena la laguna, formando planicies y terrazas aluviales de gravas y arenas bien a moderadamente seleccionadas, con clastos redondeados y estructuras propias de transporte fluvial. En la Figura 21 se ve un ejemplo de esta unidad geomorfológica.

Figura 21

Unidades geomorfológica terrazas aluviales.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2 Estratigrafía

Para contextualizar la sucesión de unidades presentes en el área del proyecto, se presenta la columna estratigráfica regional del cuadrángulo de Singa (Hoja 19-j), elaborada por Jacay (1996) (Figura 23). Esta columna resume la secuencia litológica y cronológica reconocida a escala regional, sirviendo como referencia para la correlación de las formaciones geológicas identificadas en el área de estudio.

El registro estratigráfico del área de estudio muestra unidades sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior, cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios. Esta secuencia se definió mediante análisis geológico de superficie, interpretación cartográfica y correlación con perfiles litológicos de perforaciones en el eje de la futura presa Laguna Arín.

Figura 22

Columna estratigráfica regional del cuadrángulo de Singa.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS		
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Coluvio-aluvional	Qh-coal	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">N-ba</div> Basalto </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">N-and</div> Andesita, dacita </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">N-mz</div> Monzonita </div> </div>	
			Dep. Aluviales	Qh-al		
			Dep. Fluvioglaciales	Qh-fg		
C E N O Z O I C A	NEOGENO		~ ~ ~ ~ ~			
	PALEOGENO					
M E S O Z O I C A	CRETACICO	superior	Fm. Chota	Ks-P-ch		
			Fm. Celendín	Ks-ce		
			Fm. Jumasha	Ks-J		
		inferior	Fm. Crisnejas	Ki-cr		
			Fm. Goyllarizquisga	Ki-g		
	JURASICO	superior				
		medio				
		inferior				
	TRIASICO	superior	Fm. Chamberá	Tr-ch		
		medio				
inferior						
PALEOZOICO	PERMICO	superior	Gpo. Mitu	Ps-m	Pal-gr/gd Granito-Granodiorita	
		inferior	Gpo. Copacabana	Pi-c		
	CARBONIFERO	superior			Pal-gb,du Gabro, dunita	
		inferior	Gpo. Ambo	Ci-a		
NEO-PROTEROZOIC.			Complejo del Marañón	Pe-cm		

Nota: Tomado de Jacay (1996).

En el área de estudio se reconocen las siguientes unidades geológicas, ordenadas desde las más antiguas hasta las más recientes, identificadas mediante observaciones de campo, perforaciones diamantinas, calicatas y métodos geofísicos aplicados (ERT, SEV, Refracción Sísmica y MASW). Ver Tabla 5.

Tabla 5

Formaciones y depósitos cuaternarios en la Laguna Arín.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos coluviales (Qh-c)
			Depósitos aluviales (Qh-al)
			Depósitos lacustres (Qh-l)
			Depósitos morrénicos (Qh-g)
Mesozoico	Cretácico	Superior	Formación Jumasha (Ks-j)
		Inferior	Formación Crisnejas (Ki-cr)
			Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

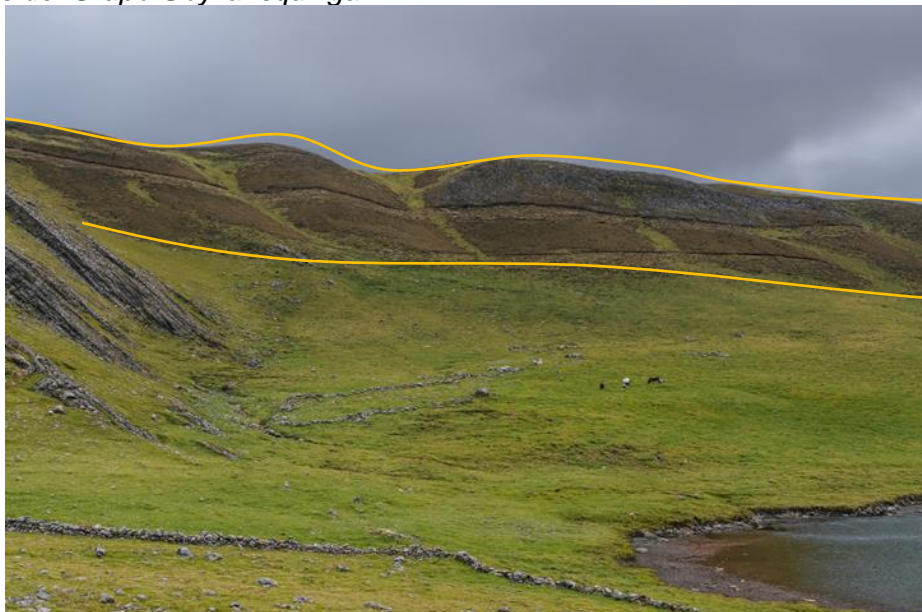
Nota: Elaboración propia.

Las principales unidades identificadas en el área de estudio son las siguientes:

3.1.2.1 Grupo Goyllarisquizga (Ki-g). Secuencia clástica compuesta principalmente por areniscas finas a medias, cuarzosas, con intercalaciones delgadas de limolitas. Fue identificado en las perforaciones diamantinas y en poca medida en la parte SE de la laguna. Presenta en general altos grados de fracturamiento y permeabilidades primarias y secundarias altas. Véase la Figura 23.

Figura 23

Areniscas del Grupo Goyllarisquizga.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2.2 Formación Crisnejas (Ki-cr). En el área de estudio presenta calizas grises azuladas y margas grises a amarillentas. Se observaron niveles con olor fétido, margas con laminación ondulante y oolitos. Hacia la base hay margas grises azuladas y, en el tope, margas celestes-beige y gris azulado. Véase la Figura 24.

Figura 24

Calizas de la Formación Crisnejas.

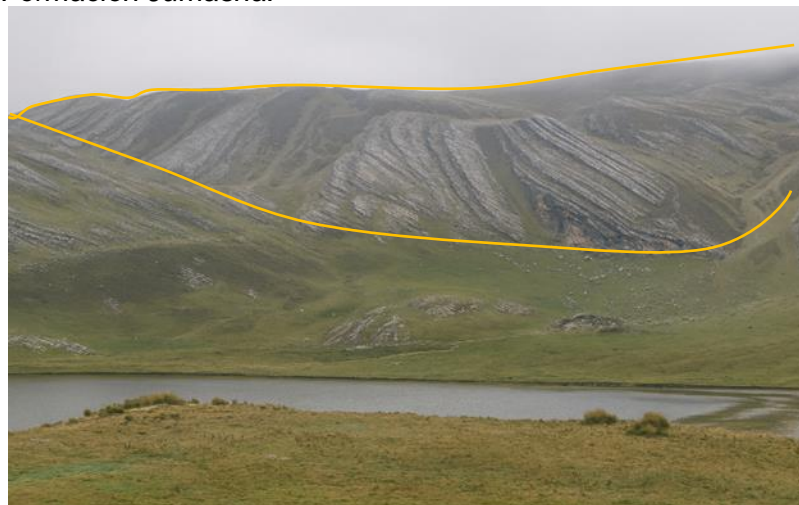


Nota: Elaboración propia.

3.1.2.3 Formación Jumasha (Ks-j). Calizas de color gris a gris azulado, con intercalaciones margosas. Estratificación media a gruesa y fracturamiento moderado a intenso, que incrementa localmente la permeabilidad. Véase la Figura 25.

Figura 25

Calizas de la Formación Jumasha.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2.3 Depósitos morrénicos (Qh-g). Material heterométrico mal seleccionado, compuesto de clastos angulosos a subangulosos en matriz limosa–arenosa, de diversa litología y tamaño. Corresponde a morrenas laterales y frontales remanentes del último avance glaciario. Véase la Figura 26.

Figura 26

Depósitos morrénicos.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2.4 Depósitos lacustres (Qh-l). Arcillas y limos de color gris a marrón, con laminación fina, originados por decantación en ambientes de baja energía. Asociados al actual cuerpo de agua, paleoniveles lacustres y suelos hidromórficos. Véase la Figura 27.

Figura 27

Depósitos lacustres.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2.5 Depósitos aluviales (Qh-a). Gravas y arenas subredondeadas a redondeadas, poco seleccionadas, con estratificación cruzada y estructuras de transporte fluvial. Se desarrollan a lo largo del cauce de drenaje y en terrazas. Véase la Figura 28.

Figura 28

Depósitos aluviales.



Nota: Elaboración propia.

3.1.2.6 Depósitos coluviales (Qh-c). Material heterométrico de ladera, compuesto por clastos angulosos, mal seleccionados, en matriz arenosa o limosa. Asociado a procesos gravitacionales como caída de rocas, reptación y flujos de detritos. Ver Figura 29.

Figura 29

Depósitos coluviales.



Nota: Elaboración propia.

3.1.3 Litología

Las litologías presentes tienen una incidencia directa en la estabilidad geotécnica, el comportamiento hidrogeológico del terreno y la cimentación de las estructuras de la presa. Las unidades litológicas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Tabla Litológica – Laguna Arín.

Unidad Litológica	Descripción General	Ambiente de Deposición	Observaciones Técnicas
Grupo Goyllarisquizga (Ki)	Areniscas cuarzosas cementadas, intercaladas con conglomerados. Alta dureza.	Ambientes fluviales marginales	Competente como base estructural. Fracturamiento local influye en permeabilidad.
Formación Crisnejas (Kis-c)	Caliza gris oscura con margas calcáreas y calizas nodulares. Textura fina.	Ambiente marino somero	Baja permeabilidad. Posibles zonas meteorizadas y fisuradas.
Formación Jumasha (Ks-j)	Caliza masiva gris claro, con limolitas intercaladas. Alta resistencia estructural.	Ambiente marino de plataforma	Alta rigidez. Posible infiltración por fracturas abiertas.

Nota: Elaboración propia.

Las Figuras 30, 31 y 32 ilustran las litologías predominantes en la zona: el Grupo Goyllarisquizga, la Formación Crisnejas, y la Formación Jumasha,

Figura 30

Litología representativa del Grupo Goyllarisquizga.



Nota: Elaboración propia.

Figura 31

Litología representativa de la Formación Crisnejas.



Nota: Elaboración propia.

Figura 32

Litología representativa de la Formación Jumasha.



Nota: Elaboración propia.

3.1.4 Geología estructural

El área de estudio se encuentra en la vertiente oriental de los Andes norcentrales del Perú, en una zona caracterizada por la presencia de estructuras tectónicas asociadas

a la compresión andina. Esta deformación ha afectado a las unidades sedimentarias del Cretácico presentes en la región, como las calizas de la Formación Jumasha y las lutitas de la Formación Crisnejas, provocando fallamiento.

De acuerdo con el mapa geológico del Cuadrángulo de Singa por Jacay (1996), en las cercanías de la Laguna Arín se ha identificado una falla inversa de rumbo NNO-SSE, que representa una importante estructura tectónica regional. Esta falla fue mapeada a partir de evidencias en superficie, como alineamientos estructurales y cambios litológicos abruptos, aunque no se encuentra clasificada como falla activa, ya que no existen pruebas de desplazamiento reciente ni actividad sísmica vinculada en tiempos recientes. Ver Figura 33.

Figura 33

Traza de la falla al noreste de la laguna.



Nota: Imagen satelital de Google Earth.

Durante la visita de campo, se observaron estratos inclinados y pliegues bien desarrollados en varias de las formaciones sedimentarias, lo que confirma la influencia de

esfuerzos compresivos. Estos pliegues presentan geometrías anticlinales y sinclinales, con flancos que se inclinan entre 30 y 60°, y orientación aproximadamente NNW–SSE, coherente con la dirección general de la deformación regional.

Aunque estas estructuras no se consideran activas en la actualidad, su presencia es significativa desde el punto de vista geotécnico e hidrogeológico, ya que condicionan la distribución del fracturamiento, la permeabilidad del terreno y la estabilidad de taludes, aspectos críticos para el diseño de obras como la presa proyectada en la Laguna Arín.

3.1.5 Geodinámica externa

La geodinámica externa en la laguna Arín está determinada por su origen glaciar y procesos geomorfológicos actuales.

Se observan morrenas, depósitos coluviales, laderas inestables, además de dinámicas fluviales y lacustres. Estos procesos, relictos y activos, condicionan la estabilidad de taludes y el emplazamiento de la futura presa.

Se reconocen cuatro procesos principales de geodinámica externa. Los procesos glaciares y periglaciares se evidencian en morrenas laterales y frontales que actúan como diques naturales, además de huellas de gelifracción en laderas elevadas. Los procesos gravitacionales se manifiestan en caídas de rocas y deslizamientos superficiales que afectan depósitos coluviales y taludes escarpados. Los procesos fluviales corresponden a la erosión y transporte de sedimentos por quebradas tributarias, generando cárcavas y acumulaciones.

Finalmente, los procesos lacustres incluyen la socavación de orillas y la sedimentación en zonas de ingreso, factores relevantes para la estabilidad de la futura presa. Ver Figura 34.

Figura 34

Procesos geodinámicos en el área de estudio.



Nota: Imagen satelital de Google Earth.

Adicionalmente, se observa la acción de procesos de meteorización, tanto física como química, que debilitan las rocas y suelos circundantes. Un ejemplo destacado de ello se aprecia en las calizas meteorizadas de la zona, donde se desarrollan formas de lapiaz, claramente visibles en la fotografía adjunta, evidenciando la disolución diferencial y la acción prolongada del agua sobre la roca carbonatada. Ver Figura 35.

Figura 35

Meteorización de calizas en forma de lapiaz.



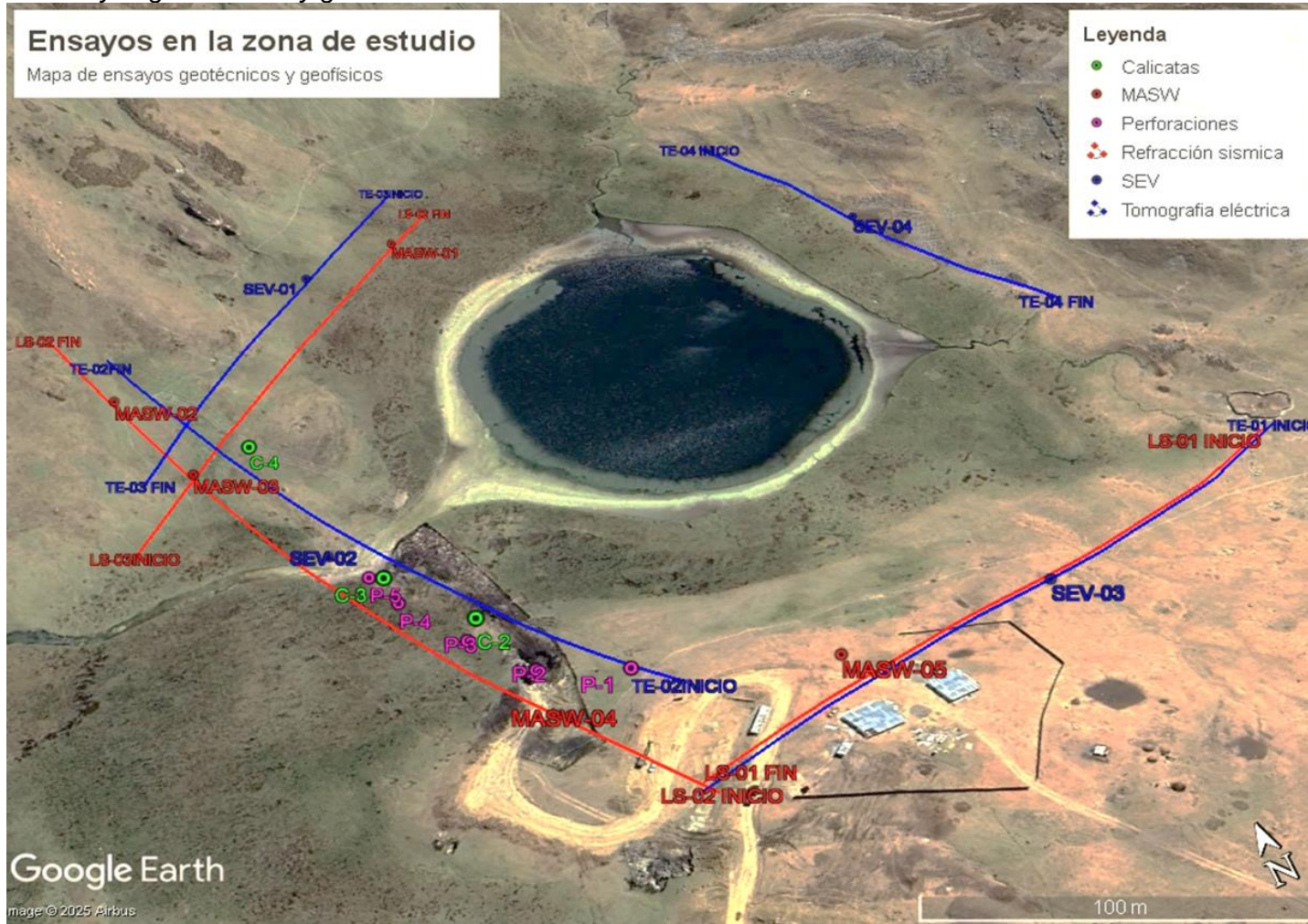
Nota: Elaboración propia.

3.2 Investigaciones de campo

Las investigaciones de campo comprendieron una combinación de estudios geotécnicos y geofísicos realizados en el área de influencia directa del eje de la futura presa. Se ejecutaron un total de 5 perforaciones diamantinas, 4 calicatas, 3 perfiles de ensayos TRE, 4 ensayos SEV, 4 líneas de Refracción Sísmica y 5 perfiles MASW. La distribución de estos ensayos fue definida estratégicamente a lo largo del eje de la presa y sus estribos, con el objetivo de caracterizar de manera integral las condiciones estratigráficas, geomecánicas e hidrogeológicas del terreno. La Figura 36 presenta la ubicación georreferenciada de todos los puntos y perfiles ejecutados, sirviendo como base para la posterior integración e interpretación de los datos.

Figura 36

Distribución de los ensayos geotécnicos y geofísico utilizados.



Nota: Imagen satelital de Google Earth (2025).

3.2.1 Métodos geotécnicos

3.2.1.1 Perforaciones diamantinas. Se realizaron cinco perforaciones diamantinas distribuidas a lo largo del eje de la futura presa Arín, con el objetivo de caracterizar las condiciones geotécnicas del subsuelo, identificar la estratigrafía profunda, reconocer contactos litológicos, y registrar el nivel freático en zonas estratégicas del proyecto. Estas perforaciones permitieron recuperar testigos de roca y suelo, los cuales fueron evaluadas, complementando así la interpretación geológica realizada a partir de métodos indirectos, como lo son los métodos geofísicos. En la Figura 37 se ve la maquina perforadora modelo LY-44, con la que se realizaron todos los sondeos diamantinos.

Figura 37

Máquina de perforación diamantina modelo LY-44 ubicada en el sondeo P-04.



Nota: Elaboración propia.

Las coordenadas, profundidades alcanzadas, niveles freáticos y altura respecto al nivel del mar observados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7*Datos generales de las perforaciones diamantinas realizadas.*

CÓDIGO	Coordenadas UTM WGS 84		Profundidad (m)	Nivel de agua (m)	Cota (m)
	Este (m)	Norte (m)			
P-1	286694	8961099	15.00	1.00	4298.50
P-2	286664	8961117	25.00	0.80	4293.00
P-3	286648	8961149	25.00	0.85	4290.00
P-4	286631	8961183	25.00	0.75	4288.50
P-5	286625	8961204	30.00	0.75	4288.00

Nota: Elaboración propia.

Estas perforaciones aportaron información valiosa sobre las condiciones del terreno de fundación, incluyendo la identificación de litologías predominantes, condiciones de humedad y granulometría. La caracterización estratigráfica permitió establecer correlaciones con los resultados obtenidos de los métodos geofísicos eléctricos y sísmicos, facilitando la elaboración de modelos geotécnicos más consistentes en zonas donde no fue posible realizar excavaciones adicionales. A continuación, se presenta un resumen de los principales estratos identificados en el logueo de todas las perforaciones en la Tabla 8, en donde se presentan datos de profundidad, clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, que agrupa suelos por granulometría y plasticidad), litología y una descripción geológica-geotécnica.

Tabla 8*Resumen del registro geológico-geotécnico de las perforaciones.*

Perforación	Profundidad (m)	Clasificación SUCS / Tipo de material	Descripción geológica-geotécnica
P-1	0.00 – 0.70	CH	Arcilla de alta plasticidad (CH), de color marrón oscuro, con raíces y cobertura vegetal dispersa. Textura suave, tenacidad alta, humedad alta, dilatancia nula. Consistencia media a firme. Composición aproximada: finos 80%, arena 20%, grava trazas.
	0.70 – 2.60	CL	Arcilla de plasticidad baja a media (CL), color marrón oscuro, textura media, humedad alta. Presenta grava subangular dispersa. Consistencia firme. Composición: grava 35%, arena 25%, finos 40%.
	2.60 – 15.00	GC-GM	Grava arcillosa limosa (GC-GM), de color marrón claro, textura gruesa, humedad alta. Alta compacidad, con presencia de finos moderada. Composición: grava 45%, arena 20%, finos 35%.

P-2	0.00 – 0.40	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.40 – 2.70	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
	2.70 – 8.90	GC–GM	Grava arcillosa limosa con arena, color marrón, estructura grumosa, compacidad media, humedad alta. Grava: 45 %, Arena: 20 %, Finos: 35 %.
	8.90 – 25.00	Roca arenisca	Roca sedimentaria de tipo arenisca, fuertemente a muy fuertemente meteorizada (R3–R2), con RQD bajo (predominantemente <50 %), lo que indica alta fracturación. Permeabilidad moderada a alta ($\approx 10^{-2}$ cm/s). Calidad geotécnica baja a moderada.
P-3	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.30 – 2.00	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
	2.00 – 17.60	GC–GM	Grava arcillosa limosa con arena, color marrón, estructura grumosa, compacidad media, humedad alta. Grava: 45 %, Arena: 20 %, Finos: 35 %.
	17.60–25.00	Roca arenisca	Roca sedimentaria de tipo arenisca, fuertemente a muy fuertemente meteorizada (R3–R2), con RQD bajo (predominantemente <50 %), lo que indica alta fracturación. Permeabilidad moderada a alta ($\approx 10^{-2}$ cm/s). Calidad geotécnica baja a moderada.
P-4	0.00 – 0.35	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.35 – 3.00	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
	3.00 – 12.50	GC–GM	Grava arcillosa limosa con arena, color marrón, estructura grumosa, compacidad media, humedad alta. Grava: 45 %, Arena: 20 %, Finos: 35 %.
	12.50–25.00	Roca arenisca	Roca sedimentaria de tipo arenisca, fuertemente a muy fuertemente meteorizada (R3–R2), con RQD bajo (predominantemente <50 %), lo que indica alta fracturación. Permeabilidad moderada a alta ($\approx 10^{-2}$ cm/s). Calidad geotécnica baja a moderada.
P-5	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.30 – 3.50	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
	3.50 – 12.50	GC–GM	Grava arcillosa limosa con arena, color marrón, estructura grumosa, compacidad media, humedad alta. Grava: 45 %, Arena: 20 %, Finos: 35 %.
	12.50–30.00	Roca arenisca	Roca sedimentaria de tipo arenisca, fuertemente a muy fuertemente meteorizada (R3–R2), con RQD bajo (predominantemente <50 %), lo que indica alta fracturación. Permeabilidad moderada a alta ($\approx 10^{-2}$ cm/s). Calidad geotécnica baja a moderada.

Nota: Elaboración propia.

Los testigos obtenidos durante la perforación diamantina fueron cuidadosamente almacenados en cajas plásticas debidamente rotuladas, lo que garantizó su conservación y permitió un análisis detallado en gabinete de las características litológicas y geotécnicas de cada estrato interceptado. Este procedimiento fue fundamental para correlacionar la información directa de campo con los registros geofísicos, asegurando una interpretación integral del subsuelo. En la Figura 38 se presenta un ejemplo representativo de los testigos recuperados en la perforación P-03, correspondientes a la caja N.º 6, que almacena el tramo comprendido entre 21.50 y 25.00 m de profundidad.

Figura 38

Muestras obtenidas del sondeo P-03, caja 6, desde 21.50 hasta 25.00 m.



Nota: Elaboración propia.

3.2.1.2 Ensayos SPT. Dentro de las perforaciones diamantinas se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) y con Cono tipo Peck, con el objetivo de evaluar la resistencia del terreno y complementar su caracterización geotécnica. Estos ensayos permiten estimar propiedades como la compacidad relativa, la consistencia y, en algunos casos, la capacidad portante. En la Figura 39 se presenta el equipo utilizado para los ensayos SPT.

Figura 39

Equipo de golpeo automático de la maquina perforadora.



Nota: Elaboración propia.

Los ensayos SPT se ejecutaron utilizando un martillo automático de 63.5 kg con caída libre de 76 cm. Para cada intervalo se registró el número de golpes necesarios para hincar 15 cm el penetrómetro, considerando como rechazo los 50 golpes sin avance apreciable.

En paralelo, se aplicó el ensayo de penetración dinámica con Cono tipo Peck, el cual permitió complementar la información obtenida mediante el SPT, especialmente en suelos de grano fino y en estratos con presencia de gravas, donde el ensayo estándar suele presentar limitaciones. Los valores registrados evidencian una tendencia creciente con la profundidad, mostrando incrementos significativos que confirman la presencia de materiales más competentes en los niveles inferiores de los sondeos, lo que resulta consistente con la transición hacia estratos de mayor densidad relativa y resistencia, como gravas densas y areniscas meteorizadas.

La Tabla 9 presenta un resumen de los resultados más relevantes obtenidos, en el que se detallan las profundidades de ejecución, el tipo de ensayo aplicado y la litología identificada en cada intervalo.

Tabla 9*Resultados de los ensayos SPT y Cono Peck ejecutados en las perforaciones diamantinas.*

Perforación	Tipo de ensayo	Profundidad inicio (m)	N _{SPT} / N _{cono peck}	Descripción
P-1	SPT	0.10	6	Arcilla limosa
	SPT	1.00	7	Arcilla limosa
	Cono peck	3.00	23	-
	Cono peck	6.00	29	-
	Cono peck	8.00	24	-
	Cono peck	14.00	26	-
P-2	SPT	0.20	5	Arcilla limosa
	Cono peck	1.20	15	-
	Cono peck	4.10	21	-
	Cono peck	5.60	26	-
P-3	SPT	0.20	8	Arcilla limosa
	SPT	1.80	6	Arcilla limosa
	Cono peck	2.70	25	-
	Cono peck	4.20	28	-
P-4	SPT	0.20	5	Arcilla limosa
	SPT	1.50	4	Arcilla limosa
	Cono peck	4.00	35	-
	Cono peck	6.50	22	-
	Cono peck	7.50	21	-
P-5	Cono peck	9.70	19	-
	SPT	0.20	3	Arcilla limosa
	SPT	1.80	6	Arcilla limosa
	SPT	2.70	10	Arcilla limosa
	Cono peck	5.00	27	-
	Cono peck	6.50	25	-
	Cono peck	8.00	35	-
Cono peck	8.50	43	-	

Nota: Elaboración propia.

Los resultados muestran que en los primeros metros del subsuelo predominan valores bajos de NSPT, característicos de suelos limo-arcillosos con consistencia blanda a media. Con el incremento de la profundidad, los valores medidos con Cono Peck aumentan de manera progresiva, alcanzando hasta 43 golpes en la perforación P-5. Este comportamiento refleja una mejora en la densidad relativa de los materiales y una transición hacia estratos más competentes, conformados por gravas densas y areniscas meteorizadas. Es importante precisar que, tanto para el SPT como para el Cono Peck, los valores reportados corresponden a la suma de los golpes necesarios para lograr una penetración de 15 a 30 cm y 30 a 45 cm, respectivamente, criterio que en este estudio se consideró de forma equivalente para ambos ensayos con fines comparativos.

Estos resultados concuerdan con la estratigrafía obtenida en los registros geológico-geotécnicos (Tabla 8), donde se identifican capas de arcillas limosas superficiales seguidas de gravas arenosas y finalmente areniscas meteorizadas. En la Figura 40 se ve la muestra recién extraída del ensayo SPT iniciado en 1.50 m de profundidad en el sondeo P-04.

Figura 40

Muestra recién extraída en el sondeo P-04.



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 41 se ve la muestra extraída en el ensayo SPT iniciado en 1.80 m en el sondeo P-05.

Figura 41

Muestra del ensayo SPT a 2.70 m en la perforación P-05.



Nota: Elaboración propia.

3.2.1.3 Ensayos Lefranc. Se ejecutaron ensayos de permeabilidad tipo Lefranc en diferentes niveles de las perforaciones, bajo condiciones de carga constante y variable, con el fin de evaluar la conductividad hidráulica de los materiales atravesados. Los resultados obtenidos permiten estimar el grado de permeabilidad del terreno en función de su profundidad por medio de la constante de infiltración denominada “k”, medida en cm/s. En la Figura 42 se ve el procedimiento realizado para el ensayo LE-03 en el sondeo P-04.

Figura 42

Procedimiento para la ejecución del ensayo Lefranc.



Nota: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad tipo Lefranc, ejecutados en las distintas perforaciones diamantinas, se resumen en la Tabla 10. En ella se detallan las condiciones de cada prueba, incluyendo el código de identificación, el tipo de ensayo aplicado (carga constante o variable), los intervalos de profundidad evaluados y los valores de permeabilidad obtenidos. Esta información constituye un insumo fundamental para caracterizar el comportamiento hidráulico de los materiales atravesados, permitiendo diferenciar las zonas más permeables asociadas a suelos granulares y niveles fracturados, de aquellas de menor conductividad hidráulica vinculadas a estratos arcillosos o de roca más compactas.

Tabla 10

Resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc.

Perforación	Código de ensayo	Tipo de ensayo	Profundidad inicio (m)	Profundidad fin (m)	Permeabilidad – k (cm/s)
P-1	LE-01	Carga constante	4.00	5.60	3.55E-02
	LE-02	Carga constante	8.20	10.10	2.60E-02
	LE-03	Carga variable	13.00	14.60	8.90E-02
P-2	LE-01	Carga constante	4.00	5.60	2.75E-02
	LE-02	Carga constante	8.60	10.10	2.34E-02
	LE-03	Carga constante	13.00	16.10	3.96E-03
	LE-04	Carga constante	22.10	25.00	7.22E-03
P-3	LE-01	Carga constante	4.00	5.60	1.76E-02
	LE-02	Carga constante	7.80	8.60	1.24E-02
	LE-03	Carga constante	15.90	17.60	5.30E-03
	LE-04	Carga constante	20.10	22.10	3.16E-03
P-4	LE-01	Carga constante	5.50	6.50	2.87E-02
	LE-02	Carga constante	8.90	9.50	2.96E-02
	LE-03	Carga constante	16.00	17.00	7.75E-03
	LE-04	Carga constante	22.20	23.00	4.59E-03
P-5	LE-01	Carga constante	11.50	12.50	5.91E-03
	LE-02	Carga constante	22.20	23.00	4.59E-03

Nota: Elaboración propia.

3.2.1.4 Calicatas. Se ejecutaron calicatas mecánicas (se realizaron con una retroexcavadora) en distintos puntos del eje de la futura presa Arín, con profundidades de hasta 3.00 m, con el propósito de caracterizar los suelos superficiales del terreno, evaluar su estado natural y complementar la información estratigráfica obtenida mediante perforaciones diamantinas y ensayos geofísicos. Las calicatas permitieron observar directamente las características físicas de los materiales, registrar la presencia de nivel freático y recolectar muestras representativas para ensayos de laboratorio. En la Figura 43 y 44 se ven a modo de ejemplo las calicatas C-2 y C-3.

Figura 43

Ejecución y registro estratigráfico de la calicata C-2.



Nota: ECCSAM S.R.L. (2022).

Figura 44

Ejecución y registro estratigráfico de la calicata C-3.



Nota: ECCSAM S.R.L. (2022).

En la Tabla 11 se muestran los datos generales de ubicación, profundidad y cota, mientras que en la Tabla 12 se presenta el resumen del registro geológico–geotécnico.

Tabla 11

Datos generales de las calicatas realizadas.

Código	Coordenadas UTM WGS 84		Profundidad (m)	Nivel de agua (m)	Cota (m)
	Este (m)	Norte (m)			
C-1	286547	8960864	2.00	-	4293.00
C-2	286655	8961159	3.00	1.50	4290.00
C-3	286630	8961200	3.00	1.50	4288.50
C-4	286600	8961303	3.00	1.50	4288.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Resumen del registro geológico-geotécnico de las calicatas.

Perforación	Profundidad (m)	Clasificación SUCS / Tipo de material	Descripción geológica-geotécnica
C-1	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad (CH), de color marrón oscuro, con raíces y cobertura vegetal dispersa. Textura suave, tenacidad alta, humedad alta, dilatancia nula. Consistencia media a firme. Composición aproximada: finos 80%, arena 20%, grava trazas.
	0.30 – 2.00	CL	Arcilla de plasticidad baja a media (CL), color marrón oscuro, textura media, humedad alta. Presenta grava subangular dispersa. Consistencia firme. Composición: grava 35%, arena 25%, finos 40%.
C-2	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.30 – 3.00	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
C-3	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.30 – 3.00	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.
C-4	0.00 – 0.30	CH	Arcilla de alta plasticidad, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia blanda, humedad alta. Contiene raíces y trazas de materia vegetal. Arena: 20 %, Finos: 80 %.
	0.30 – 3.00	CL	Arcilla de baja plasticidad con presencia de grava y arena, color marrón oscuro, estructura masiva, consistencia media, humedad alta. Grava: 35 %, Arena: 25 %, Finos: 40 %.

Nota: Elaboración propia.

3.2.2 Métodos geofísicos utilizados

Se aplicaron dos tipos de métodos geofísicos, eléctricos y sísmicos, seleccionados en función de las características del terreno y de los objetivos específicos del estudio.

En la Tabla 13 se resumen los tipos de métodos aplicados, los ensayos ejecutados y la cantidad correspondiente en cada caso.

Tabla 13

Tipos y cantidades de métodos geofísicos empleados.

TIPO DE MÉTODO	ENSAYO	CANTIDAD
Eléctrico	Tomografía eléctrica - TRE	960 m
Eléctrico	Sondeo Eléctrico Vertical - SEV	4 unidades
Sísmico	Refracción Sísmica	1025 m
Sísmico	MASW	5 unidades

Nota: Elaboración propia.

3.2.2.1 Métodos eléctricos. En este apartado se describen los ensayos eléctricos aplicados durante la campaña, específicamente la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), seleccionados por su capacidad para caracterizar la distribución de resistividades en el subsuelo y, de esta manera, aportar información sobre la estratigrafía, el grado de saturación y la presencia de zonas fracturadas o de baja permeabilidad.

3.2.2.1.1 Ensayos TRE. Se realizaron en total 960 m de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) distribuidos en cuatro líneas de exploración, codificadas de TE-01 a TE-04. Estas líneas fueron trazadas tanto en el vaso del embalse como en el eje de la futura presa, con el fin de obtener un modelo bidimensional de la distribución de resistividades en el subsuelo. Para la adquisición de datos se empleó un arreglo eléctrico tipo polo–dipolo con una separación entre electrodos de 5 m, lo que permitió alcanzar profundidades de investigación cercanas a los 50 m, garantizando al mismo tiempo una adecuada resolución lateral. La disposición de los perfiles se planificó en función de las condiciones topográficas y los objetivos de caracterización, permitiendo identificar variaciones en la estratigrafía, niveles de saturación y posibles zonas de fracturamiento.

En la Figura 45 y 46 se ve la ejecución de los ensayos TE-01 y TE-02 en la dirección del eje de presa y en el embalse respectivamente.

Figura 45

Ejecución de la línea de TRE TE-01 a través del eje de presa.



Nota: Elaboración propia.

Figura 46

Ejecución de la línea de TRE TE-02 en el embalse de la presa.



Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se detallan las coordenadas de inicio y fin, la longitud de cada línea y la zona específica donde se ejecutaron los ensayos.

Tabla 14

Datos de los ensayos TRE.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84 (INICIO)		COORDENADAS UTM WGS 84 (FIN)		LONGITUD (m)	ZONA
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)		
TE-01	287000	8961109	286685	8961029	270.0	Vaso del embalse
TE-02	286707	8961083	286551	8961368	260.0	Eje de presa
TE-03	286731	8961522	286553	8961296	240.0	Vaso del embalse
TE-04	286919	8961498	286992	8961245	190.0	Vaso del embalse

Nota: Elaboración propia.

3.2.2.1.2 Ensayos SEV. Se llevaron a cabo 4 ensayos SEV, bajo el arreglo de tipo Schlumberger, los cuales alcanzaron profundidades de investigación del orden de 27.8 a 39.2 m, dependiendo de la longitud de los electrodos utilizados y de las condiciones de resistividad del subsuelo. Estos ensayos fueron ejecutados con el objetivo de obtener información sobre la variación vertical de resistividades, permitiendo así identificar la presencia de estratos conductivos o resistivos asociados a cambios litológicos, niveles de saturación y posibles zonas de fracturamiento. Los SEV fueron codificados de SEV-01 a SEV-04 de manera consecutiva y distribuidos estratégicamente en dos sectores principales: en el vaso del embalse, para evaluar la continuidad y espesor de los depósitos sedimentarios y su grado de saturación, y en el eje de la futura presa, con el fin de caracterizar las condiciones del macizo de cimentación.

En la Figura 47 se muestra la ejecución del ensayo SEV-01, ubicado en la zona del vaso del embalse, donde se observa la disposición del equipo de adquisición y las conexiones de los electrodos. Asimismo, en la Figura 48 se presenta la ejecución del SEV-02 a lo largo del eje de la presa, evidenciando el tendido de cables y la distribución de los electrodos en el terreno.

Figura 47

Ejecución del ensayo SEV-01.



Nota: Elaboración propia.

Figura 48

Ejecución del ensayo SEV-02.



Nota: Elaboración propia.

Los datos generales de ubicación y profundidad alcanzada en cada sondeo se detallan en la Tabla 15, donde se incluyen las coordenadas, la profundidad efectiva de investigación y la zona específica de emplazamiento. Estos resultados constituyen un insumo esencial para complementar los perfiles bidimensionales obtenidos mediante tomografía de resistividad eléctrica (TRE), proporcionando un control puntual de resistividad en profundidad que contribuye a una caracterización más robusta del subsuelo.

Tabla 15*Datos de los ensayos SEV.*

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		PROFUNDIDAD (m)	ZONA
	ESTE (m)	NORTE (m)		
SEV-01	286659	8961430	39.2	Vaso del embalse
SEV-02	286614	8961226	27.8	Eje de presa
SEV-03	286854	8961068	34.6	Vaso del embalse
SEV-04	286955	8961377	34.2	Vaso del embalse

Nota: Elaboración propia.

3.2.2.2 Métodos sísmicos. Se aplicaron dos técnicas sísmicas complementarias: la Refracción Sísmica y el ensayo MASW. Ambas fueron seleccionadas con el objetivo de caracterizar la rigidez y competencia del subsuelo en el eje de la futura presa y en el vaso del embalse. Mientras la Refracción Sísmica permite identificar contrastes de velocidad de onda compresional (V_p), asociados a cambios litológicos o de grado de meteorización, el MASW aporta información sobre las velocidades de onda de corte (V_s), fundamentales para la clasificación sísmica del sitio y la estimación de módulos dinámicos de deformación.

3.2.2.2.1 Ensayos de refracción sísmica. Se ejecutaron 1025 m de Refracción Sísmica distribuidos en tres líneas principales, codificadas como LS-01, LS-02 y LS-03, emplazadas tanto en el vaso del embalse como en el eje de la presa. Para la adquisición se empleó un tendido de geófonos verticales de 4.5 Hz, dispuestos cada 5 m, con longitudes de línea que variaron entre 315 m y 395 m. La fuente sísmica utilizada fue un martillo de 20 lb aplicado sobre una placa metálica, repitiéndose cada disparo entre 3 y 5 veces con el fin de mejorar la relación señal-ruido.

En la Figura 49 se muestra la disposición del tendido sísmico y del sismógrafo correspondiente al ensayo LS-01 en la zona del embalse, mientras que en la Figura 50 se observa el tendido de la línea LS-02 a lo largo del eje de presa. Los metrajes, coordenadas y zonas específicas de cada línea se detallan en la Tabla 16, donde se aprecia la distribución estratégica de los perfiles para cubrir tanto el macizo de cimentación como los

depósitos aluviales del embalse. Estos ensayos proporcionan información esencial para reconocer la continuidad de los estratos, estimar la profundidad al basamento rocoso y diferenciar materiales de distinta competencia geotécnica.

Figura 49

Vista general del equipo y tendido sísmico en el ensayo LS-01 en la zona de embalse.



Nota: Elaboración propia.

Figura 50

Tendido de línea sísmica del ensayo LS-02 a través del eje de presa.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Datos de los ensayos de Refracción Sísmica.

Código	Coordenadas UTM WGS 84 (INICIO)		Coordenadas UTM WGS 84 (FIN)		Longitud (m)	Zona
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)		
	LS-01	286995	8961110	286690		
LS-02	286692	8961025	286533	8961387	395.0	Eje de presa
LS-03	286542	8961256	286744	8961498	315.0	Vaso del embalse

Nota: Elaboración propia.

3.2.2.2.2 Ensayos MASW. Complementariamente, se realizaron 5 ensayos MASW con una profundidad de investigación aproximada de 30 m, codificados como MASW-01 hasta MASW-05. Estas pruebas se ejecutaron con un tendido lineal, registrando ondas superficiales en un arreglo multicanal de 24 geófonos de 4.5 Hz, separados cada 3 m. El procesamiento consistió en la obtención de curvas de dispersión, a partir de las cuales se generaron modelos unidimensionales de velocidades de onda de corte (V_s).

En la Figura 51 se aprecia el tendido del perfil MASW-01 en el eje de la presa y en la Figura 52 el correspondiente al MASW-02. Los detalles de ubicación, coordenadas y profundidades se resumen en la Tabla 17, diferenciando los perfiles en el vaso del embalse y en el eje de presa. Estos ensayos permiten calcular el V_{s30} , fundamental para la clasificación del sitio según la NTE E.030, y estimar parámetros dinámicos como el módulo de corte (G) y de elasticidad (E).

Figura 51

Tendido sísmico del ensayo MASW-01.



Nota: Elaboración propia.

Figura 52

Tendido sísmico del ensayo MASW-02.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 17

Datos de los ensayos MASW.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		PROFUNDIDAD (m)	ZONA
	ESTE (m)	NORTE (m)		
MASW-01	286713	8961461	30.0	Vaso del embalse
MASW-02	286552	8961344	30.0	Eje de presa
MASW-03	286574	8961294	30.0	Eje de presa
MASW-04	286665	8961086	30.0	Eje de presa
MASW-05	286759	8961063	30.0	Vaso del embalse

Nota: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Evaluación de los métodos geofísicos aplicados

Con el fin de caracterizar el terreno de fundación de la futura presa Arín, se aplicaron diversos métodos geofísicos no invasivos que complementaron los datos obtenidos en la investigación geotécnica. Las técnicas empleadas fueron: ensayos TRE, SEV, Refracción Sísmica y MASW, que permitieron obtener parámetros clave como resistividad eléctrica y velocidades de propagación de ondas sísmicas, útiles para inferir litología, humedad, alteración y competencia del terreno. Esta sección presenta los resultados obtenidos de cada técnica, así como una evaluación crítica de su eficiencia en el contexto geológico del área. El análisis realizado es esencial para sustentar decisiones técnicas sobre el diseño y tratamiento del terreno, con énfasis en la identificación de materiales altamente permeables en la zona del eje de la presa, y la delimitación de áreas que requieren intervención específica para garantizar estabilidad e impermeabilidad estructural.

4.1.1 *Resultados gráficos y modelos obtenidos de los métodos geofísicos*

4.1.1.1 Perfiles 2D resistividad. Se presentan los resultados de los perfiles de tomografía eléctrica TE-01 a TE-04, obtenidos a lo largo del eje de estudio. Las Figuras 53, 54, 55 y 56 revelan contrastes de resistividad eléctrica que permitieron identificar zonas de baja resistividad asociadas a materiales saturados o suelos finos, y zonas de alta resistividad vinculadas a depósitos más competentes o secos. Esta información es clave para inferir la distribución litológica y el grado de saturación del subsuelo. Los modelos obtenidos se presentan en las Figuras 53, 54, 55 y 56, respectivamente.

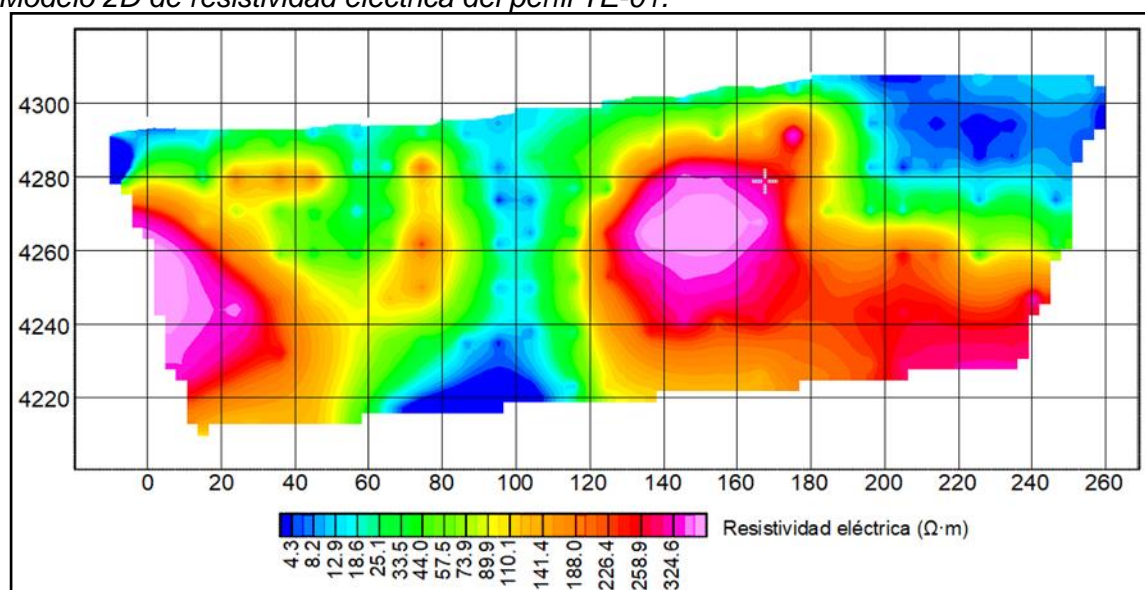
El extremo final del perfil TE-01 de 270 m de longitud, ubicado en el sector oriental del vaso del embalse, coincide con la parte sur del eje de presa proyectado. En este mismo sector el perfil TE-01 se superpone con la línea sísmica LS-01, con el perfil MASW-05 y con el sondeo eléctrico vertical SEV-03, lo que permite correlacionar directamente los resultados eléctricos y sísmicos con información puntual de resistividad en profundidad.

El modelo obtenido muestra una marcada variabilidad lateral. En el extremo occidental se identifican dominios de resistividad muy baja ($< 20 \Omega \cdot m$), interpretados como depósitos arcillo-limosos fuertemente saturados. Hacia la zona central se observa una anomalía de resistividad muy alta ($> 250 \Omega \cdot m$), asociada a la presencia de materiales más competentes, posiblemente areniscas poco meteorizadas o lentes de gravas densas, que contrastan fuertemente con el entorno. En los sectores intermedios predominan valores de resistividad moderada ($80\text{--}150 \Omega \cdot m$), vinculados a depósitos granulares con saturación parcial, mientras que en el extremo oriental se evidencian nuevamente zonas de resistividad baja a intermedia ($< 100 \Omega \cdot m$), relacionadas con materiales menos competentes.

La disposición de estas anomalías confirma la heterogeneidad del subsuelo, con alternancia de niveles blandos y saturados frente a cuerpos más consolidados. Esta condición, corroborada por la información de los sondeos P-1 y P-2, adquiere especial importancia para el diseño de la cortina de impermeabilización, ya que permite identificar los sectores de mayor riesgo de filtración y definir zonas prioritarias para el tratamiento con inyecciones. Véase Figura 53.

Figura 53

Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-01.



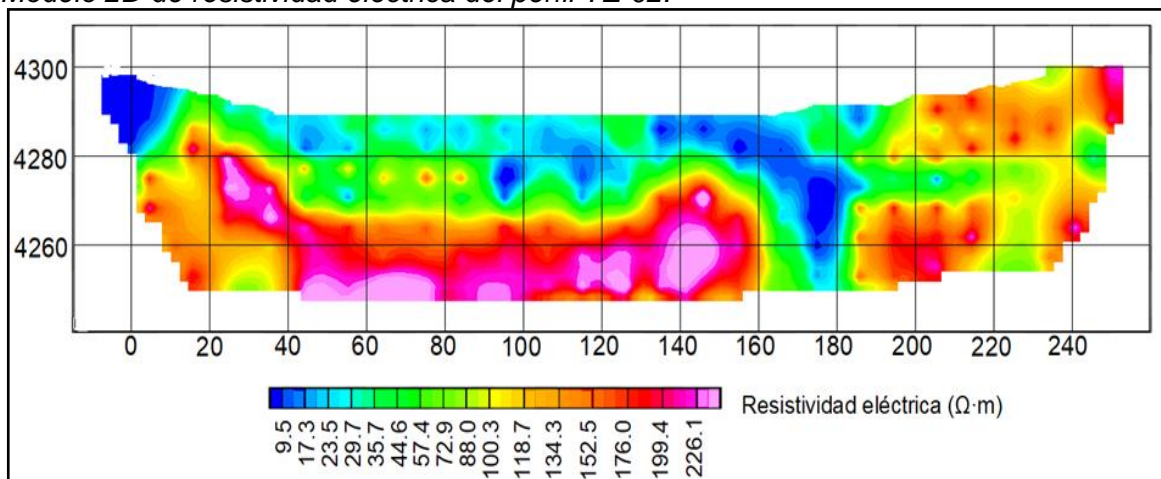
Nota: Elaboración propia.

El perfil TE-02 de 260 m, desarrollado de manera paralela al eje de presa proyectado, es uno de los trazos más relevantes para la caracterización de la cimentación. Su inicio coincide con el extremo final de la línea TE-01 y su final con la parte terminal de la TE-03, asegurando continuidad en la interpretación eléctrica. A lo largo de su trazo se superpone con el sondeo eléctrico vertical SEV-02, la línea de refracción sísmica LS-02 y, en su extremo norte, con el inicio de la LS-03, conformando un corredor de información integrado que combina métodos directos e indirectos. Además, atraviesa la zona de las perforaciones diamantinas P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5 y de las calicatas C-2, C-3 y C-4, lo que permite correlacionar la respuesta geofísica con los registros estratigráficos.

La topografía del perfil presenta una morfología en forma de U, con extremos más elevados y un sector central deprimido, lo que refleja la configuración natural del terreno en el eje de presa. En términos eléctricos, predominan resistividades bajas a intermedias (< 50 a $120 \Omega \cdot m$) en el tramo central, vinculadas a depósitos saturados y materiales granulares con variaciones de permeabilidad. En los extremos oriental y norte se reconocen resistividades más altas ($> 150 \Omega \cdot m$), interpretadas como materiales más competentes, posiblemente areniscas con menor grado de meteorización. Estos contrastes confirman la heterogeneidad lateral de la cimentación, con un tramo central menos competente y flancos más consolidados. Véase Figura 54.

Figura 54

Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-02.



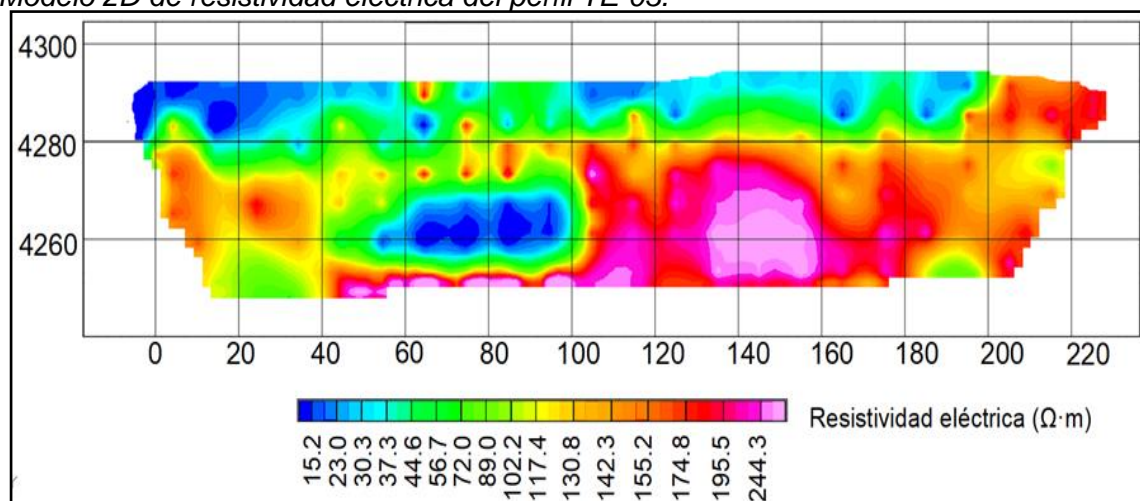
Nota: Elaboración propia.

El perfil TE-03 de 240 m, ubicado en la parte norte del área de estudio, se extiende desde un sector alejado del eje de presa hasta su extremo final, que coincide con la traza de la línea TE-02 y corta directamente al eje de presa proyectado. A lo largo de su desarrollo se ejecutó el sondeo eléctrico vertical SEV-01 y, en su tramo final, se superpone con los ensayos sísmicos MASW-02 y MASW-03, mientras que su extremo inicial se relaciona con el ensayo MASW-01. En términos de integración geofísica, toda la línea coincide con la de refracción sísmica LS-03, lo que permite correlacionar parámetros eléctricos y sísmicos en la zona norte del proyecto.

El modelo eléctrico obtenido muestra un dominio superficial con resistividades bajas ($< 50 \Omega \cdot m$), vinculadas a materiales finos y saturados. En los sectores intermedios aparecen intervalos de resistividad intermedia ($80-150 \Omega \cdot m$), asociados a depósitos granulares parcialmente saturados. Hacia la parte central-derecha del perfil se distinguen anomalías de resistividad alta ($> 180 \Omega \cdot m$), interpretadas como niveles más competentes y de menor meteorización. La disposición de estos contrastes confirma la transición desde un dominio más blando y saturado en la parte inicial, hacia materiales más competentes en el extremo cercano al eje de presa. Véase Figura 55.

Figura 55

Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-03.



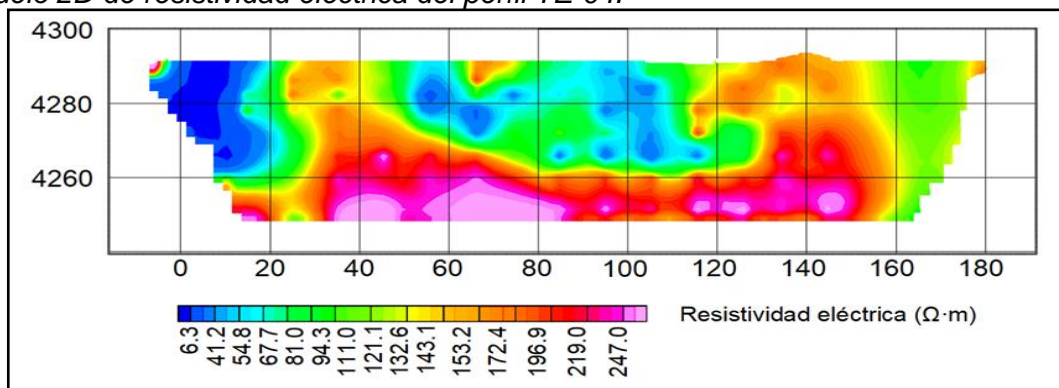
Nota: Elaboración propia.

El perfil TE-04 de 190 m, se desarrolla en sentido norte–sur, iniciando en la parte septentrional del área de estudio y finalizando en el sector sur. Geométricamente se encuentra paralelo al eje de presa, pero emplazado dentro del vaso del embalse, frente a dicho eje, lo que lo convierte en una línea clave para evaluar la continuidad de materiales en el entorno inmediato de la futura estructura. A lo largo de su trazo se ubica el ensayo SEV-04, que permite validar la respuesta del modelo eléctrico con información puntual de resistividad en profundidad. El modelo muestra un dominio superficial caracterizado por resistividades bajas a intermedias ($< 50\text{--}120 \Omega\cdot\text{m}$), interpretadas como depósitos arcillosos y limosos con saturación de agua, que cubren gran parte de la franja central. En sectores intermedios se observan anomalías con resistividades muy bajas ($< 20 \Omega\cdot\text{m}$), lo que sugiere niveles con alta humedad o materiales de menor competencia mecánica. En contraste, hacia los extremos norte y sur se distinguen intervalos con resistividades más altas ($> 150 \Omega\cdot\text{m}$), vinculados a materiales más competentes, posiblemente arenas densas o areniscas menos meteorizadas.

Al haberse ejecutado dentro del vaso del embalse, este perfil permite estimar, de cierto modo, la cantidad y distribución de materiales potencialmente permeables, lo que resulta esencial para la evaluación de filtraciones y para el diseño de la cortina de impermeabilización. La disposición de los contrastes eléctricos evidencia la predominancia de depósitos blandos y saturados en la zona central, mientras que los flancos muestran materiales más competentes que podrían actuar como límites naturales. Véase Figura 56.

Figura 56

Modelo 2D de resistividad eléctrica del perfil TE-04.



Nota: Elaboración propia.

4.1.1.2 Curvas de resistividad aparente obtenidas mediante los ensayos

SEV. En esta sección se presentan los resultados procesados de los sondeos eléctricos verticales (SEV) ejecutados en el área de estudio. La Tabla 18 resume los valores de resistividad y espesores obtenidos para cada horizonte, mientras que la Figura 57 muestra los modelos eléctricos interpretados con la estratigrafía aproximada derivada del procesamiento. Posteriormente, en las Figuras 58 a 61 se incluyen las curvas de resistividad aparente junto con los modelos de ajuste de cada sondeo.

Los SEV complementan directamente los perfiles de tomografía eléctrica, ya que cada uno se ejecutó sobre una de las líneas TRE. Esto permitió correlacionar la respuesta puntual en profundidad con la distribución lateral de resistividades obtenida en cada perfil, fortaleciendo la interpretación general del subsuelo y la identificación de zonas críticas de permeabilidad.

El ensayo SEV-01 está ubicado dentro del trazo de la tomografía TE-03, hacia la parte norte del área de estudio. Los resultados muestran un horizonte superficial de baja resistividad ($< 20 \Omega \cdot m$), que corresponde a suelos finos saturados, y niveles más profundos con resistividades elevadas ($> 100 \Omega \cdot m$), asociados a materiales más competentes. Esto coincide con las anomalías de alta resistividad observadas en el tramo central de TE-03.

El ensayo SEV-02 está localizado dentro del rango de la tomografía TE-02, sobre el eje de presa, presenta resistividades superficiales bajas ($< 15 \Omega \cdot m$) y un aumento progresivo en profundidad ($> 150 \Omega \cdot m$), lo que refleja la transición desde materiales blandos y saturados hacia niveles más consolidados. Esta respuesta es coherente con la heterogeneidad observada en la parte central del perfil TE-02.

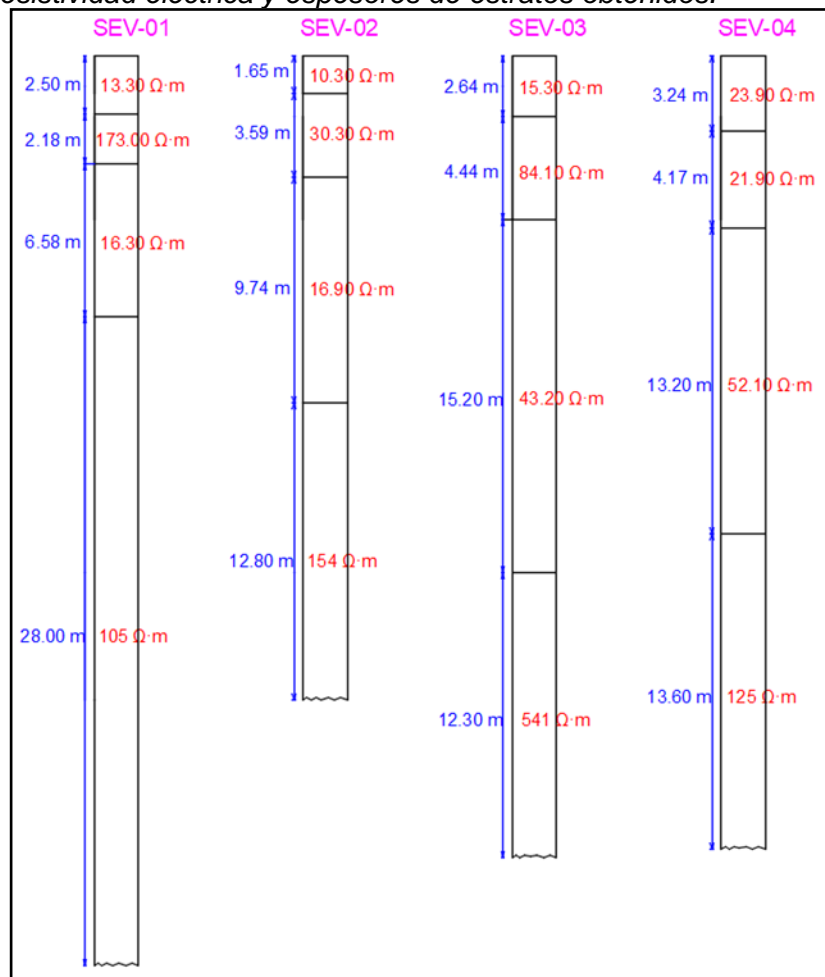
El sondeo SEV-03 coincide con la tomografía TE-01, en el sector oriental del vaso del embalse. Los valores bajos de resistividad en los primeros metros corroboran la presencia de depósitos finos saturados, mientras que en profundidad se registran resistividades intermedias a altas ($> 80 \Omega \cdot m$), lo que se relaciona con cuerpos más densos. Esta información refuerza la anomalía central de resistividades altas identificada en TE-01.

Por último, el ensayo SEV-04 está emplazado en la línea de tomografía TE-04, dentro del vaso del embalse y frente al eje de presa. El modelo generado del ensayo SEV-04 muestra horizontes superficiales de resistividad baja ($< 25 \Omega \cdot m$), asociados a arcillas y limos saturados, y niveles más profundos con resistividades intermedias a altas ($> 120 \Omega \cdot m$), en correspondencia con las zonas competentes identificadas en TE-04.

En conjunto, los cuatro ensayos SEV permitieron validar y precisar las interpretaciones derivadas de la tomografía eléctrica, otorgando mayor confiabilidad a la caracterización del subsuelo. Su integración confirma la existencia de materiales blandos y saturados en superficie, con transición hacia materiales más competentes en profundidad, condición fundamental para el diseño de la cortina de impermeabilización y la definición de la cimentación en el eje de presa.

Figura 57

Perfiles de resistividad eléctrica y espesores de estratos obtenidos.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 18

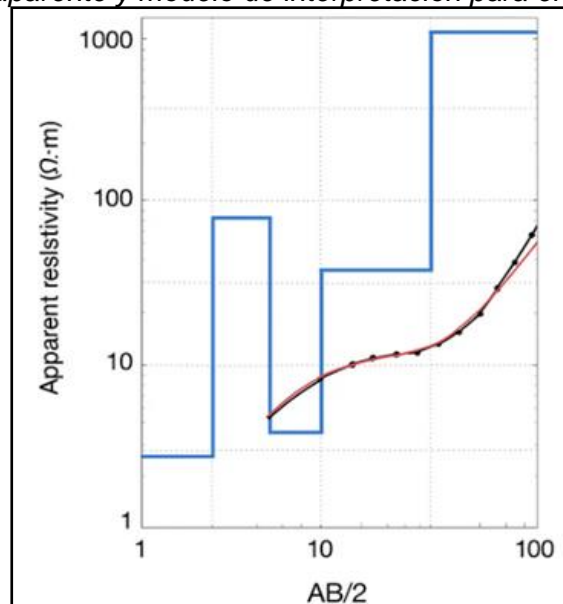
Resistividades y espesores de estratos obtenidos en los SEV.

Horizonte	SEV-01		SEV-02		SEV-03		SEV-04	
	ρ_1	E_1	ρ_1	E_1	ρ_1	E_1	ρ_1	E_1
Horizonte 01	13.30	2.50	10.30	1.65	15.30	2.64	23.90	3.24
Horizonte 02	173.00	2.18	30.30	3.59	84.10	4.44	21.90	4.17
Horizonte 03	16.30	6.58	16.90	9.74	43.20	15.20	52.10	13.20
Horizonte 04	105.00	28.00	154.00	12.80	541.00	12.30	125.00	13.60

Nota: Elaboración propia.

Figura 58

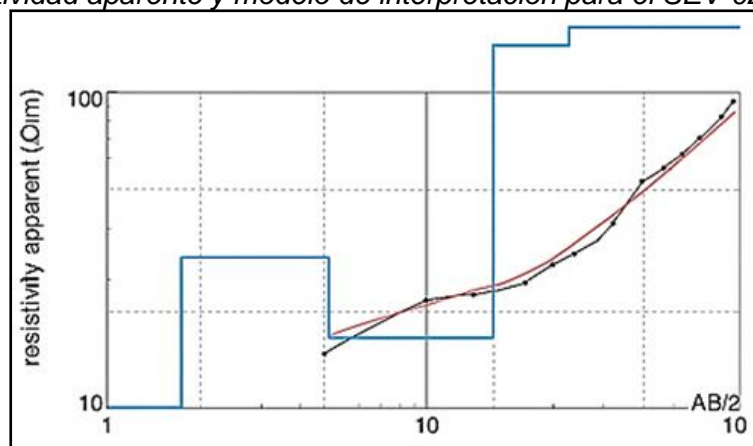
Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-01.



Nota: Elaboración propia.

Figura 59

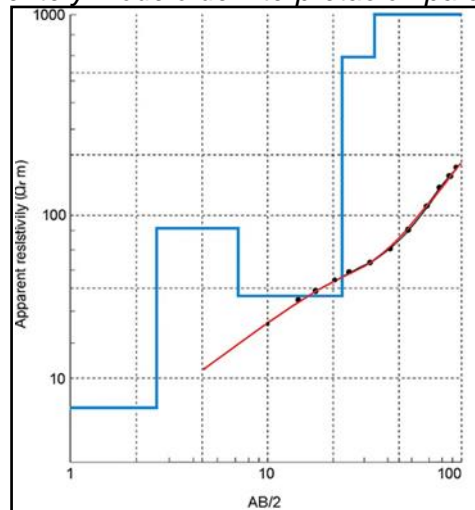
Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-02.



Nota: Elaboración propia.

Figura 60

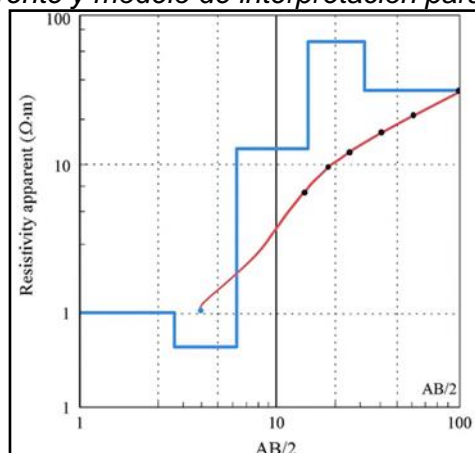
Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-03.



Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Curva de resistividad aparente y modelo de interpretación para el SEV-04.



Nota: Elaboración propia.

4.1.1.3 Perfiles 2D de velocidades V_p obtenidos mediante Refracción Sísmica. En las Figuras 62, 63 y 64 se presentan los modelos bidimensionales (2D) de velocidad de onda compresional (V_p) obtenidos a partir de los ensayos de Refracción Sísmica ejecutados en el área de estudio.

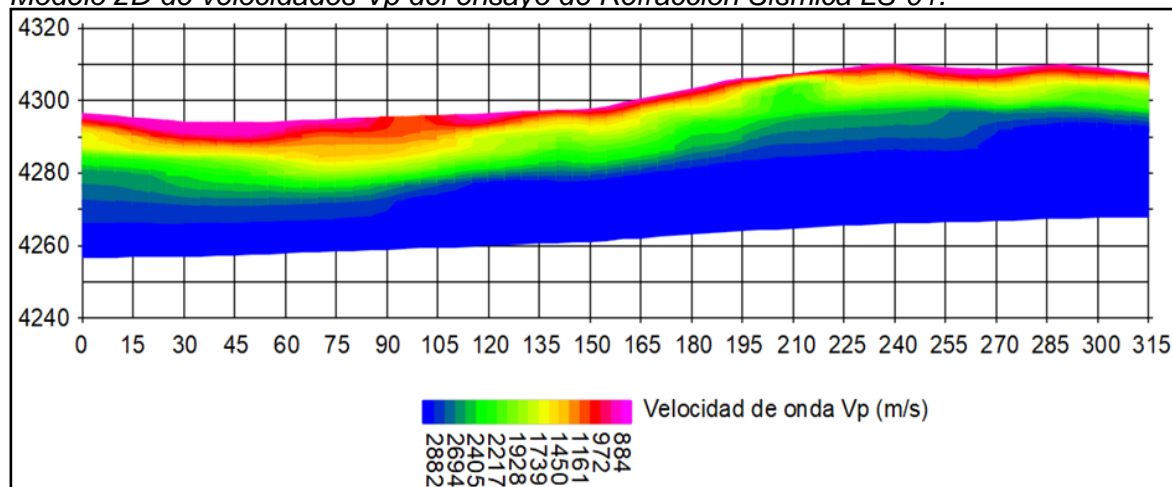
Estos permiten diferenciar variaciones en la rigidez y compactación de los materiales del subsuelo, identificando sectores de baja competencia mecánica, caracterizados por velocidades reducidas (< 1200 m/s), y zonas de mayor consolidación

con velocidades superiores a 2000 m/s. La integración de estos resultados con los perfiles eléctricos y los registros de perforaciones permite afinar la interpretación geotécnica del terreno de cimentación y del vaso del embalse.

El perfil LS-01, ubicado en el sector oriental del vaso del embalse y coincidente con los ensayos TE-01, MASW-05 y SEV-03, evidencia un dominio superficial caracterizado por bajas velocidades de propagación de onda compresional (<1000 m/s), asociadas a depósitos poco compactos y con alto grado de saturación. En niveles más profundos se distinguen velocidades intermedias comprendidas entre 1500 y 2000 m/s, que se relacionan con la presencia de gravas y arenas más densas y competentes. Esta distribución confirma la heterogeneidad lateral observada en la tomografía eléctrica TE-01, reforzando la necesidad de tratamientos diferenciales en el diseño. Véase la Figura 62.

Figura 62

Modelo 2D de velocidades Vp del ensayo de Refracción Sísmica LS-01.



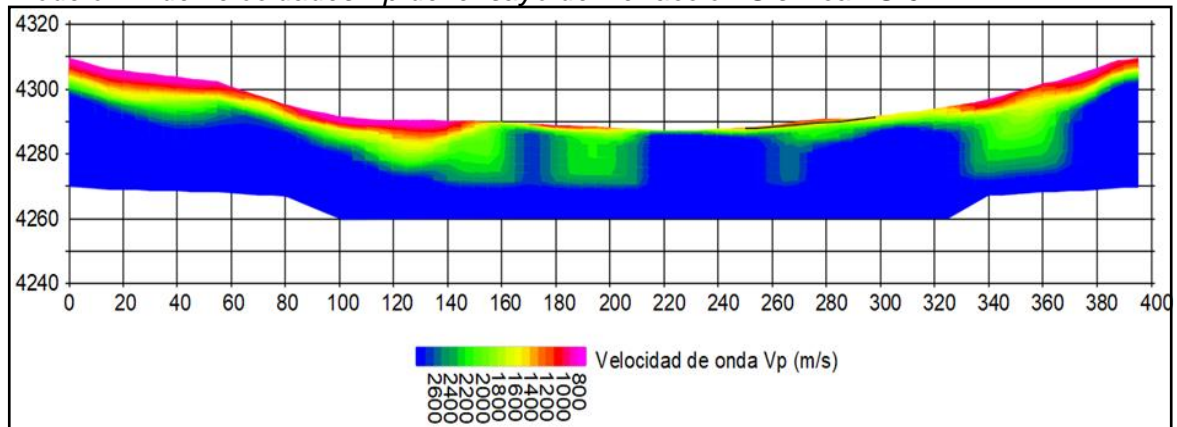
Nota: Elaboración propia.

Los resultados del perfil LS-02, desarrollado de manera longitudinal a lo largo del eje de presa proyectado y coincidente con la línea TE-02, junto con los ensayos MASW-02 y MASW-03, así como con las perforaciones P-2, P-3, P-4 y P-5, fueron los más importantes para la caracterización del subsuelo en la zona de fundación. El ensayo de Refracción Sísmica LS-02 se realizó sobre una topografía en forma de U, donde el tramo central se caracteriza por bajas velocidades de propagación (< 1200 m/s), asociadas a depósitos blandos y con elevada saturación. En contraste, los extremos del perfil presentan

velocidades mayores a 2000 m/s, vinculadas a materiales más competentes, probablemente areniscas con menor grado de meteorización. Véase la Figura 63.

Figura 63

Modelo 2D de velocidades Vp del ensayo de Refracción Sísmica LS-02.

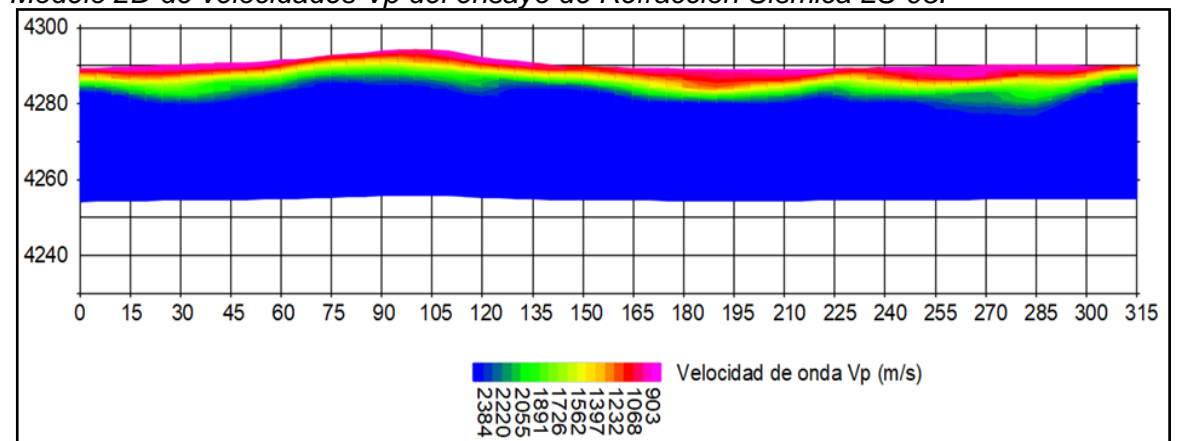


Nota: Elaboración propia.

Finalmente, el perfil LS-03, ubicado en el sector norte del embalse y coincidente con la línea de tomografía eléctrica TE-03 y el sondeo eléctrico vertical SEV-01, muestra un dominio basal con velocidades sísmicas superiores a 2200 m/s, lo que indica la presencia de un basamento rocoso competente a poca profundidad. Este nivel está cubierto por un manto superficial de depósitos blandos y saturados, con velocidades bajas (< 1000 m/s), que corresponden a materiales poco consolidados. La configuración obtenida confirma la existencia de un basamento relativamente somero en este sector, lo que refuerza la interpretación de heterogeneidad lateral en la cimentación. Véase la Figura 64.

Figura 64

Modelo 2D de velocidades Vp del ensayo de Refracción Sísmica LS-03.



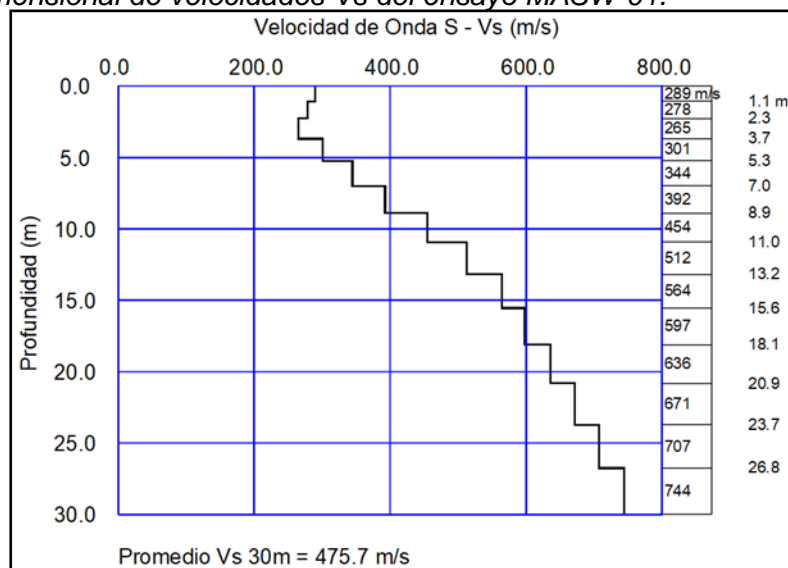
Nota: Elaboración propia.

4.1.1.4 Perfiles de velocidades Vs obtenidos mediante MASW. Los resultados de los cinco ensayos MASW ejecutados en el área de estudio se presentan en las Figuras 65, 66, 67, 68 y 69. A partir de estos registros se obtuvieron los modelos unidimensionales de velocidad de onda S (Vs), que permiten caracterizar la rigidez dinámica del subsuelo hasta profundidades de 30 m. Los valores de Vs30 calculados varían entre 433.6 m/s y 841.9 m/s, lo que, de acuerdo con la clasificación establecida en la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), ubica al terreno en las categorías S1 (suelo muy rígido) y S2 (suelo intermedio).

El perfil MASW-01 (Figura 65), ubicado en el extremo oriental del embalse y coincidente con los ensayos TE-01, LS-01 y SEV-03, arroja un Vs30 de 475.7 m/s, lo que indica un subsuelo de rigidez intermedia, asociado a depósitos finos saturados en superficie y niveles más densos en profundidad.

Figura 65

Modelo unidimensional de velocidades Vs del ensayo MASW-01.

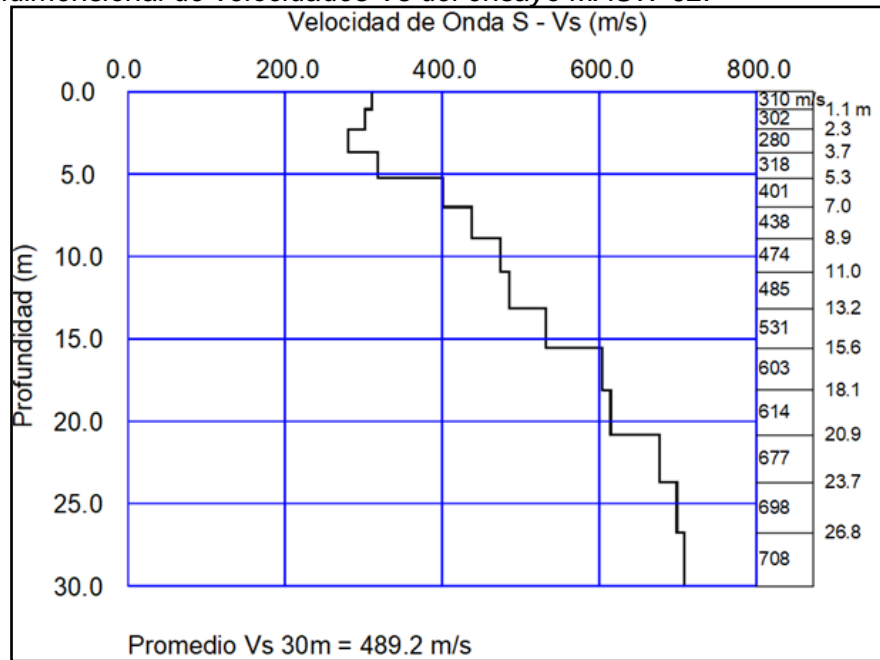


Nota: Elaboración propia.

El MASW-02 (Figura 66), ejecutado directamente sobre el eje de presa y coincidente con la línea de tomografía eléctrica TE-02 y el perfil sísmico LS-02, muestra un valor de Vs30 de 489.2 m/s. Este resultado confirma la existencia de un tramo central compuesto por depósitos blandos y saturados, los cuales gradualmente transicionan hacia materiales más competentes y rígidos en los sectores laterales del perfil.

Figura 66

Modelo unidimensional de velocidades Vs del ensayo MASW-02.

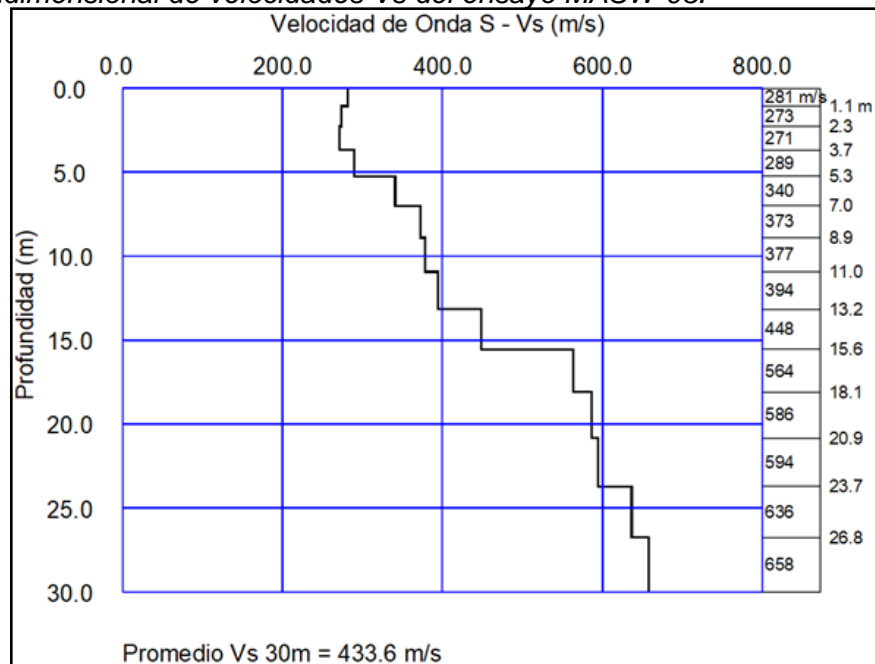


Nota: Elaboración propia.

Por su parte, el MASW-03 (Figura 67), desarrollado también sobre el eje de presa y cercano a las perforaciones P-3 y P-4, registra el valor más bajo con 433.6 m/s, lo que evidencia la presencia de depósitos más sueltos y saturados en este sector.

Figura 67

Modelo unidimensional de velocidades Vs del ensayo MASW-03.

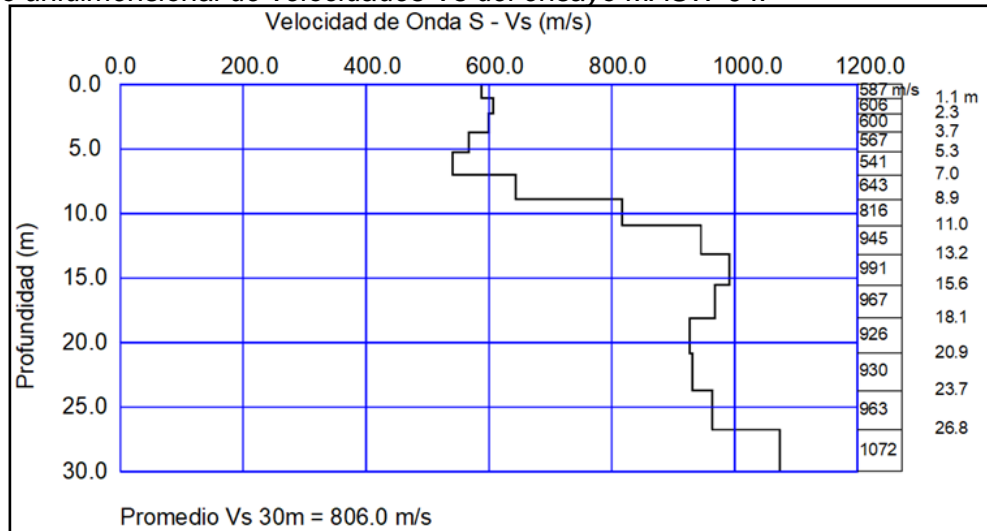


Nota: Elaboración propia.

En contraste, el MASW-04 (Figura 68), situado frente al eje de la presa en el vaso del embalse, presenta un Vs30 de 806.0 m/s, reflejando un comportamiento significativamente más rígido, posiblemente asociado a gravas densas o niveles de arenisca someros.

Figura 68

Modelo unidimensional de velocidades Vs del ensayo MASW-04.

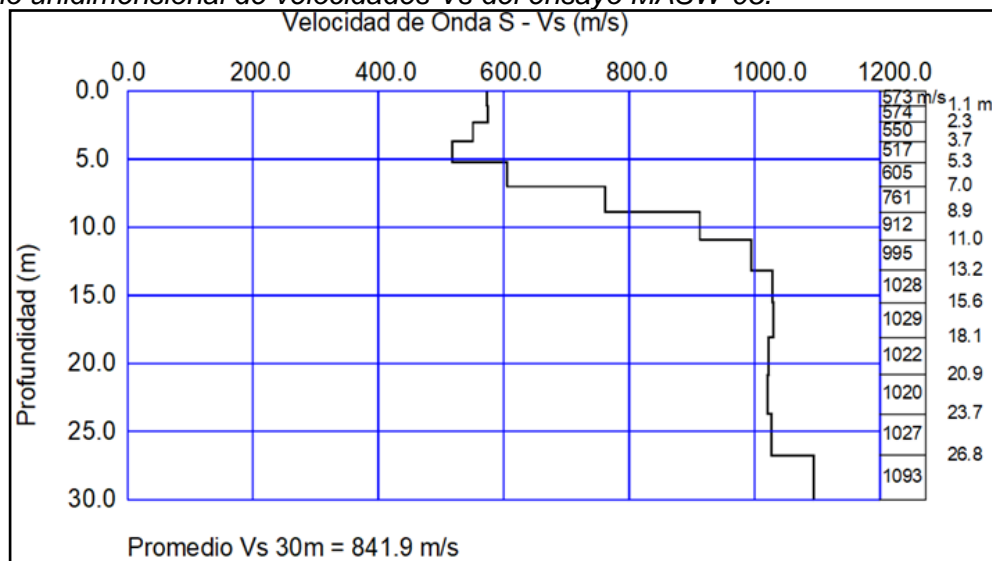


Nota: Elaboración propia.

Finalmente, el MASW-05 (Figura 69), coincidente con la línea TE-01 y la refracción LS-01, alcanza un Vs30 de 841.9 m/s, constituyendo el valor más alto de la campaña y evidenciando condiciones de cimentación más competentes en este extremo del embalse.

Figura 69

Modelo unidimensional de velocidades Vs del ensayo MASW-05.



Nota: Elaboración propia.

4.1.2 Alcances y limitaciones metodológicas

La campaña geofísica ejecutada en el área del proyecto permitió una caracterización indirecta pero detallada del subsuelo, a través de métodos no destructivos como los ensayos TRE, SEV, Refracción Sísmica y MASW. Estas técnicas complementaron los datos puntuales obtenidos en perforaciones diamantinas y calicatas, especialmente en zonas donde no se pudo intervenir con métodos directos. A continuación, se describen los principales alcances y limitaciones metodológicas observadas durante la ejecución e interpretación de estas técnicas en campo.

4.1.2.1 Alcances. Seguidamente se presentan los 5 alcances encontrados.

- Extensión espacial continua. Los ensayos TRE y la Refracción Sísmica permitieron obtener perfiles bidimensionales continuos del subsuelo a lo largo de más de 1985 m en total, posibilitando la delimitación de unidades geofísicas en áreas sin intervención directa.
- Detección de materiales permeables. Las técnicas TRE y SEV mostraron alta sensibilidad para identificar zonas de baja resistividad (entre 4 y 20 $\Omega \cdot m$), asociadas a capas húmedas, materiales finos o fracturados y zonas altamente permeables, especialmente en el entorno de la formación compuesta de arenisca.
- Zonificación estratigráfica. La integración de los resultados permitió dividir el subsuelo en dominios geofísicos correlacionables con las litologías descritas en perforaciones y calicatas, diferenciando coberturas de material fino superficiales, niveles granulares y material rocoso.
- Validación cruzada entre métodos. En zonas con información combinada (TRE, SEV, Refracción Sísmica y MASW), fue posible realizar correlaciones entre resistividad eléctrica, velocidad de onda P (V_p) y velocidad de onda S (V_s), fortaleciendo la interpretación estratigráfica.
- Soporte de decisiones de diseño. Los métodos geofísicos fueron fundamentales para definir el modelo del terreno en el eje de la presa, especialmente en zonas sin

perforaciones, contribuyendo a la toma de decisiones sobre el tratamiento previo del terreno.

4.1.2.2 Limitaciones. Se contemplaron 4 limitaciones, que se presentan a continuación.

- Dependencia de validación geotécnica: Si bien los métodos geofísicos aplicados ofrecen gran capacidad de exploración indirecta, su interpretación requiere siempre correlación con métodos directos. En este estudio, aunque se contaba con perforaciones y calicatas, algunas zonas fueron interpretadas exclusivamente con métodos indirectos, lo cual implica un nivel de incertidumbre.
- Sensibilidad variable de los métodos: Los ensayos TRE ofrecieron buena resolución lateral, mostrando buen comportamiento en zonas saturadas o con presencia de arcillas, mientras que en sectores secos o litológicamente heterogéneos se presentaron ambigüedades interpretativas. En los SEV, fue posible identificar estratos con resistividades contrastantes, aunque su resolución vertical resultó limitada en áreas con transiciones graduales o complejas. Los ensayos de Refracción Sísmica dependen del contraste de la velocidad de ondas P (V_p) y de la relación señal/ruido, mientras que los ensayos MASW pierden resolución por debajo de los 30 m aproximadamente.
- Condiciones climáticas: Las lluvias persistentes favorecieron la respuesta de los métodos eléctricos (TRE y SEV), pero complicaron la ejecución y calidad de registros sísmicos, afectando la propagación de ondas y la definición de capas en algunos perfiles. La calidad de los datos de Refracción Sísmica se vio reducida debido a la alta saturación del terreno por lluvias intensas, lo que afectó la definición de interfaces geológicas por métodos sísmicos. En los ensayos MASW, se observó menor resolución en profundidad, dificultando la caracterización de capas profundas en terrenos geológicamente variables.

- Heterogeneidad y anisotropía. Variaciones laterales y capas delgadas pueden enmascarar respuestas 1D y generar no unicidad en la inversión, requiriendo integración de métodos para resolver ambigüedades.

4.1.3 Análisis comparativo de eficiencia

La comparación entre métodos evidenció que ninguno, por sí solo, caracteriza plenamente el terreno, pero su combinación incrementa notablemente la certeza. El TRE delineó con mayor resolución lateral las zonas de baja resistividad asociadas a saturación y finos; el SEV aportó control vertical en profundidad allí donde el MASW no alcanzó. El MASW resultó más eficaz para evaluar rigidez dinámica (V_s , V_{s30}) y clasificar el sitio según la NTP E.030, complementando la información litológica inferida por la resistividad. La Refracción Sísmica fue determinante para definir interfaces y contrastes de competencia (V_p), especialmente a lo largo del eje de presa. Finalmente, los ensayos geotécnicos directos (SPT y Lefranc) brindaron parámetros mecánicos e hidráulicos que validaron la lectura geofísica y dimensionaron el comportamiento hidráulico del cimiento.

4.1.4 Factores que afectaron la calidad de los datos

Durante la ejecución de la campaña, se identificaron diversos factores que incidieron en la calidad de los registros y en la interpretación final:

- Condiciones hidrometeorológicas. Las precipitaciones incrementaron la conductividad superficial y pudieron atenuar contrastes eléctricos.
- Topografía abrupta. La irregularidad del terreno introdujo distorsiones en las geometrías aparentes de los perfiles, requiriendo correcciones topográficas precisas.
- Contacto electrodo-suelo. En zonas con gravas secas, fue necesario incrementar la humedad en los puntos de inyección utilizando solución salina, con el fin de asegurar un acoplamiento eléctrico adecuado, aunque en general la mayor parte del terreno mantuvo alta humedad.
- Heterogeneidad del subsuelo. La alternancia de capas delgadas con diferentes propiedades mecánicas y eléctricas redujo la capacidad de resolución de los

métodos, especialmente en perfiles de profundidad intermedia, sin embargo, esto no afectó en mayor medida el trabajo de interpretación geológica.

Aunque cada técnica presentó limitaciones específicas de resolución, profundidad o sensibilidad a las condiciones de campo, la integración de métodos eléctricos y sísmicos con los controles geotécnicos directos permitió construir un modelo robusto y coherente del subsuelo especialmente en el eje de la presa. Este enfoque combinado reduce la incertidumbre, identifica con mayor precisión las zonas de permeabilidad y los tramos más competentes para cimentación, y ofrece una base replicable para el diseño de la cortina de inyecciones y la planificación de tratamientos del terreno en proyectos con condiciones análogas.

4.2 Integración de datos geotécnicos y geofísicos

La fase de integración constituye el núcleo interpretativo del estudio, donde se sintetizan los resultados obtenidos mediante métodos geofísicos y geotécnicos para definir el modelo geológico-geotécnico del eje de la presa Arín. El objetivo principal es correlacionar, de manera coherente y validada, las propiedades físicas inferidas de los métodos indirectos con los parámetros obtenidos de las investigaciones directas, de modo que se disponga de una caracterización precisa para el diseño de la cimentación y la definición de tratamientos del terreno.

En el sector del eje de presa y sus inmediaciones se ejecutó un conjunto específico de investigaciones directas e indirectas, que incluyen calicatas, perforaciones diamantinas con ensayos in situ, ensayos TRE, SEV, Refracción Sísmica y MASW. Estos métodos se complementaron mutuamente:

- Los métodos geofísicos aportaron continuidad lateral y detección de variaciones en las propiedades físicas del subsuelo (resistividad, velocidad de ondas) que permitió inferir cambios litológicos, condiciones de humedad y competencia de materiales.
- Los métodos geotécnicos directos proporcionaron parámetros medidos in situ, sirviendo como puntos de calibración y validación de la interpretación geofísica.

En los apartados 4.2.1 hasta 4.2.6 se presentan la correlación entre los resultados obtenidos, la zonificación del terreno según su comportamiento, la integración de la información en un modelo geológico-geotécnico que servirá de base para el diseño y las recomendaciones de tratamiento del terreno donde se cimentará la presa.

4.2.1 Correlación de parámetros geofísicos con ensayos geotécnicos.

Inventario de datos en el eje de presa:

- Calicatas: C-2, C-3, C-4 (descripción litológica).
- Perforaciones: P-1, P-2, P-3, P-4, P-5 (registros geológicos-geotécnicos, SPT/Cono Peck y Lefranc).
- Tomografía eléctrica (TRE): TE-02 sobre eje; TE-01 y TE-03 perpendiculares.
- Refracción sísmica (Vp): LS-02 sobre eje; LS-01 y LS-03 perpendiculares.
- MASW (Vs): MASW-02, MASW-03, MASW-04 (clasificación NTP E.030: S1–S2).

4.2.1.1 Litología y estratigrafía vs. ensayos TRE. Seguidamente se presenta la correlación entre litología, estratigrafía y ensayos TRE.

- El perfil de tomografía eléctrica (rango aproximado de 9 a 226 $\Omega \cdot m$) muestra una franja continua de baja resistividad (colores azul y verde) a lo largo del eje, asociada a materiales finos y saturados, principalmente arcillas de clasificación SUCS, de tipo CH y CL, así como porciones húmedas de la unidad granular GC-GM. En los extremos del eje y en algunos sectores puntuales se observan zonas con resistividades intermedias a altas (colores amarillo y rojo), que corresponden a gravas más limpias y a niveles de arenisca parcialmente meteorizada.
- El incremento de resistividad con la profundidad concuerda con la presencia del techo de la arenisca de tipo R3–R2 identificada en las perforaciones P-2 a P-5. En la perforación P-1 se observó una columna granular (GC-GM) más gruesa, entre 2.6 y 15 m de espesor, lo que explica las resistividades intermedias que se mantienen en ese sector del perfil de tomografía eléctrica.

4.2.1.2 Correlación entre la resistencia del terreno (SPT y Cono Peck) y las velocidades sísmicas (V_p y V_s). A continuación, se presenta la correlación entre dichos parámetros.

- Cobertura CH-CL (0 a ~3 m): Los ensayos SPT registran valores entre 3 y 10 golpes, indicando una consistencia blanda a media. Esta respuesta es coherente con velocidades de onda compresional (V_p) bajas, del orden de 500 a 600 m/s, observadas en el perfil sísmico LS-02. Asimismo, las velocidades de onda de corte (V_s) medidas mediante el método MASW clasifican estos suelos dentro de los tipos S1 a S2, según la Norma Técnica Peruana E.030, correspondientes a materiales de rigidez baja a intermedia.
- GC-GM (gravas con matriz fina): Los ensayos Cono Peck registraron valores entre 15 y 43 golpes en el rango de 2.7 a 14 m de profundidad (P-1 a P-5), lo que indica una compacidad media a alta. Esta condición se refleja en los perfiles sísmicos, donde se observa un incremento de las velocidades de onda compresional (V_p), representadas en tonos verde y amarillo, coherente con una mayor rigidez relativa del terreno.
- Arenisca R3-R2 (meteorizada, RQD < 50 %): En las perforaciones, esta unidad aparece entre aproximadamente 9 y 30 m de profundidad. En el modelo sísmico LS-02 no se alcanzaron velocidades propias de roca sana (superiores a 1500–2000 m/s), lo que sugiere una posible limitación en la profundidad de investigación del tendido o un alto grado de fracturación del macizo, reflejado en velocidades moderadas. La presencia de la roca se confirma a partir de los testigos recuperados y de la disminución de la permeabilidad observada en los ensayos Lefranc, lo que indica un cambio hacia materiales más competentes en profundidad.

Como conclusión, se destaca que la competencia del terreno aumenta progresivamente desde los suelos finos (CH-CL) hacia las gravas con matriz fina (GC-GM) y finalmente hasta la arenisca. Los registros sísmicos reflejan adecuadamente el incremento de rigidez entre los materiales, mostrando un claro salto de velocidad entre los

suelos finos y los estratos granulares. El contacto con la roca se define con mayor precisión mediante las perforaciones, lo cual se ve respaldado por los valores más altos de resistividad obtenidos en la tomografía eléctrica (TRE) y por las mayores velocidades de onda de corte (V_s) determinadas en los perfiles MASW. La competencia aumenta desde CH-CL a GC-GM a arenisca; la sísmica registra bien el salto de rigidez entre suelos finos y granulares, mientras que el contacto a roca se definió con mayor certeza por perforaciones y se apoya con TRE (resistividad más alta) y MASW (V_s mayor).

4.2.1.3 Correlación entre la permeabilidad (ensayos Lefranc), la resistividad eléctrica y la litología. Se presenta a continuación las correlaciones realizadas en las perforaciones mencionadas en la Tabla 7.

- Perforación P-1 (4–14.6 m, GC-GM): Se presentan valores de permeabilidad entre 3.55×10^{-2} , 2.60×10^{-2} y 8.90×10^{-2} cm/s, correspondientes a una permeabilidad alta. Este comportamiento es coherente con resistividades intermedias-altas y con la presencia de un material granular limpio y bien drenado.
- Perforación P-2 (4–25 m): Presenta valores de 2.75×10^{-2} y 2.34×10^{-2} cm/s en la franja superior (GC-GM), que disminuyen hasta 3.96×10^{-3} y 7.22×10^{-3} cm/s al aproximarse a la arenisca meteorizada, evidenciando una transición hacia materiales menos permeables.
- Perforación P-3 (4–22.1 m): Muestra una reducción progresiva de 1.76×10^{-2} a 3.16×10^{-3} cm/s, lo que sugiere un cambio de suelos granulares medianamente permeables hacia la base de roca arenisca de menor conductividad.
- Perforación P-4 (5.5–23 m): Registra valores de 2.87×10^{-2} y 2.96×10^{-2} cm/s en el tramo superior granular, descendiendo a 7.75×10^{-3} y 4.59×10^{-3} cm/s cerca del contacto con la arenisca.
- Perforación P-5 (11.5–23 m): Presenta permeabilidades de 5.91×10^{-3} y 4.59×10^{-3} cm/s en el tramo profundo, coherentes con la presencia de arenisca meteorizada y

una disminución de la permeabilidad con la profundidad. CH-CL: sin Lefranc directo, pero se espera k baja ($\leq 10^{-6}$ m/s) por fines/saturación (resistividades bajas).

- CH/CL: No se realizaron ensayos Lefranc directos; sin embargo, por su naturaleza fina y saturada, se estima una permeabilidad baja ($\leq 10^{-6}$ cm/s), en concordancia con los valores de resistividad más bajos observados.
- GC-GM: Muestra una permeabilidad alta ($\sim 10^{-2}$ a 10^{-3} cm/s), coherente con los valores intermedios-altos de resistividad eléctrica y con los resultados del Cono Peck (N=20-40).
- Arenisca R3-R2: Exhibe una permeabilidad moderada ($\sim 10^{-3}$ a 10^{-2} cm/s) controlada por fracturamiento, lo que explica la presencia de una banda más profunda con valores intermedios ($\sim 10^{-3}$ cm/s) y zonas superiores con conductividades menores ($\sim 10^{-4}$ cm/s).

4.2.2 Zonificación del terreno en el eje de presa

Con base en las correlaciones de 4.2.1 y el perfil de permeabilidades del eje de presa, se establece la siguiente zonificación longitudinal (referida al eje, de margen derecha a izquierda):

- Z-A (cobertura fina CH-CL – arcillas y limos superficiales). Esta capa corresponde al manto de suelos finos que cubre de forma continua el eje. Desde el punto de vista geotécnico presenta baja resistencia (NSPT = 3 a 10, consistencia blanda a media) y una permeabilidad muy baja ($k \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s), por lo que actúa como un sellante natural. Su espesor no es uniforme: entre las progresivas 0+000 a 0+080 varía de 1.5 a 2.5 m; entre 0+080 a 0+140 se adelgaza a un rango de 0.8 a 1.5 m; alcanza su mínimo entre las progresivas 0+140 hasta 0+200 con 0.5 a 1.0 m; vuelve a engrosarse levemente entre 0+200 y 0+240 (0.8 a 1.4 m) y es muy delgada entre 0+240 y 0+280 (0.4 a 1.0 m). En el sector 0+280 hasta 0+320 presenta el máximo local con 1.8 a 2.8 m, para luego reducirse a un rango de 1.2 a 2.0 m entre las progresivas 0+320 a 0+348. En términos altimétricos, la base de Z-A se sitúa

aproximadamente entre 4276 y 4289 m.s.n.m., es más profunda en el fondo del valle (alrededor de 0+140 y 0+200) y más somera hacia los extremos del eje. Para la cimentación de la presa este material debe retirarse (por su baja capacidad portante), pero su muy baja permeabilidad lo hace aprovechable como insumo para el cuerpo de la presa, siempre que se seleccione, maneje y compacte adecuadamente, evitando mezclas con material orgánico o muy húmedo. Esta decisión reduce el riesgo de filtraciones en la fundación y optimiza el uso de materiales disponibles en obra.

- Z-B (cuerpo granular GC-GM, gravas con matriz fina). Subyace a la cobertura y se presenta prácticamente continuo a lo largo del eje. Desde el punto de vista geotécnico muestra compacidad media-alta (NCono Peck = 20 a 40) y una permeabilidad elevada del orden de 10^{-2} hasta 10^{-3} cm/s, por lo que, si no se controla, constituye la principal vía de filtración bajo la presa. En los perfiles geofísicos aparece con resistividades intermedias (alrededor de 80 hasta 150 $\Omega \cdot m$) y velocidades sísmicas mayores que en la cobertura fina, coherentes con su mayor rigidez relativa. Su geometría es variable a lo largo del eje: el espesor alcanza desde 5 hasta 10 m entre las progresivas 0+000 a 0+120, se adelgaza a un rango de 2 a 6 m entre 0+120 y 0+240, y vuelve a engrosar hasta el rango de 6 a 12 m entre 0+240 hasta 0+348, con un máximo alrededor de la progresiva 0+300. Considerando el espesor de la cobertura superficial (Z-A), la base de Z-B se sitúa típicamente entre 5 y 15 m bajo la superficie del terreno, siendo más somera en el tramo central (alrededor de 3 a 8 m) y más profunda hacia los extremos (715 m en promedio). En cuanto a implicancias de diseño, por tratarse de un material granular y permeable, Z-B requiere tratamientos de impermeabilización, prioritarios donde el paquete es más grueso y en la interfase Z-B/Z-C, que podría concentrar flujos. Para la cimentación, Z-B puede brindar apoyos adecuados cuando está denso; sin embargo, la cimentación definitiva no se ejecutó sobre Z-B, sino sobre el estrato rocoso más competente (Z-C).

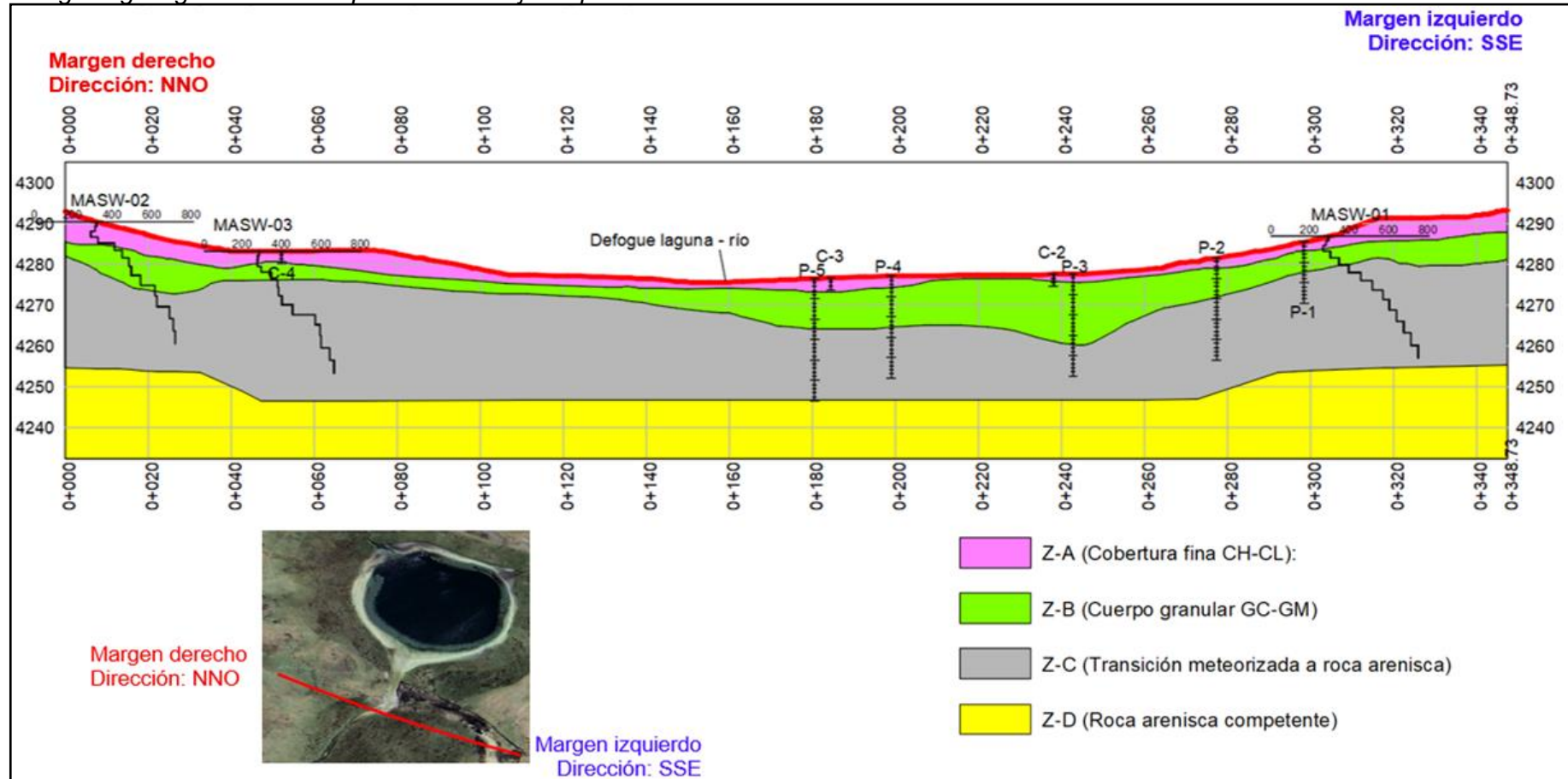
- Z-C (Transición meteorizada a roca arenisca). Es el horizonte de contacto suelo-roca, con materiales parcialmente cementados y localmente fracturados. Su espesor varía a lo largo del eje: entre las progresivas 0+000 y 0+120 alcanza entre 15 y 25 m; entre 0+120 y 0+240 se mantiene alrededor de 18 a 22 m; y entre 0+240 y 0+348 disminuye a un rango de 10 a 18 m, con adelgazamientos puntuales próximos al entorno 0+240 a 0+280. Hidráulicamente, la permeabilidad desciende a valores del orden de 1×10^{-5} m/s (aproximadamente 1×10^{-3} cm/s), menores que en Z-B. Mecánicamente, ofrece mayor rigidez que el cuerpo granular, aunque conserva una heterogeneidad marcada por cambios de meteorización, intercalaciones granulares y fracturamiento local.
- Z-D (Roca arenisca competente): Es el basamento rocoso subyacente al perfil, alcanzado tras la transición Z-C. Se caracteriza por muy baja permeabilidad (alrededor de $k \leq 10^{-5}$ m/s) y alta capacidad portante, en los perfiles geofísicos se identifica por resistividades y velocidades elevadas. Aunque es el material más competente, la cimentación se dispuso en Z-C por continuidad y ventajas constructivas. En concordancia con los cálculos de infiltración y gradientes hidráulicos, el diseño de la cortina de inyecciones no se extendió hasta Z-D: el sellado dentro de Z-C fue suficiente para cumplir los criterios de caudal admisible y seguridad, por lo que Z-D quedó como estrato de respaldo sin tratamiento.

4.2.3 Perfil geológico-geotécnico integrado del eje de presa

El perfil integrado de la Figura 70 resume la estratigrafía a lo largo del eje. La cobertura CH/CL (rosa) es continua. Bajo la cobertura aparece el cuerpo granular GC-GM (verde), que se engrosa hacia los extremos y, por su alta permeabilidad, constituye la vía de filtración. Le sigue la transición meteorizada Z-C (gris), menos permeable; sobre este estrato se adoptó la cimentación. La arenisca Z-D (amarillo) subyace sin requerir tratamiento. El modelo integra sondeos, calicatas y perfiles TRE, LS y MASW. LS-02 no alcanzó velocidades de roca; el contacto se definió con perforaciones, apoyado por TRE/MASW. La Figura 71 presenta el perfil interpretado con las obras.

Figura 70

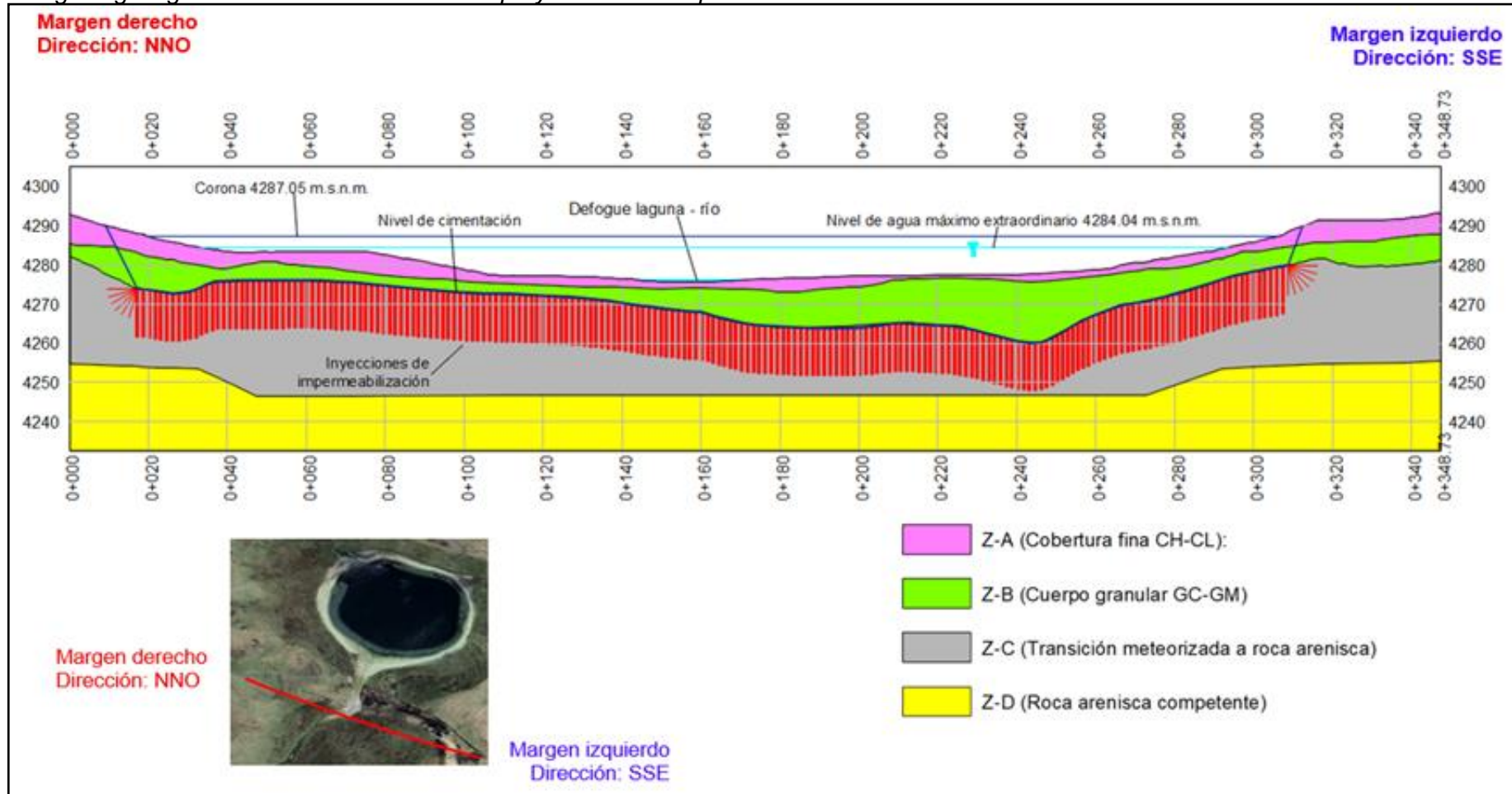
Perfil geológico-geotécnico interpretado en el eje de presa.



Nota: ECCSAM S.R.L. (2022). Perfil geológico extraído del plano original a escala H = V = 1:1000 (formato A3). Reproducido en hoja A4 únicamente con fines ilustrativos, sin mantener escala métrica.

Figura 71

Perfil geológico-geotécnico con las estructuras proyectadas de la presa.



Nota: Elaboración propia

4.2.4 Aplicación al diseño de cimentación

Independientemente del tipo definitivo de la presa, el cimiento debe cumplir dos condiciones esenciales:

- Apoyarse sobre materiales competentes y relativamente rígidos.
- Controlar la filtración a través de zonas de gravas limosas/arenosas y/o fracturas presentes en rocas meteorizadas (zonas Z-B y Z-C).

4.2.4.1 Preparación del cimiento. Se recomienda el desbroce y retiro de la unidad superficial Z-A (CH-CL), así como de cualquier material orgánico, hasta alcanzar depósitos densos de gravas arenosas (GC-GM) o arenisca superficial. Posteriormente, la superficie debe regularizarse mediante la colocación de material seleccionado y compactado al menos al 95 % del Proctor Modificado.

4.2.4.2 Nivel de fundación. El nivel de apoyo preferente es la unidad Z-C. En caso de interceptar sectores con gravas sueltas (GC-GM), se deberá realizar densificación local mediante compactación dinámica pesada o recambio controlado en la zanja del eje.

4.2.4.3 Control de filtraciones. Para minimizar las pérdidas hidráulicas bajo el eje de la presa, se plantean dos alternativas de tratamiento:

- Opción A: Construcción de una zanja pantalla con suelo-cemento, atravesando la unidad Z-B y anclada en la Z-C, hasta alcanzar una permeabilidad de $k \leq 10^{-5}$ m/s.
- Opción B: Ejecución de una cortina de inyecciones en la unidad Z-C, en una o dos filas, con espaciamiento de 2 a 3 m y profundidades equivalentes al 60–100 % de la carga hidráulica aguas arriba. Se recomienda utilizar lechadas de cemento-agua y, en zonas con matriz fina, inyecciones con microfinos.

En caso necesario, podrá colocarse una manta impermeable aguas arriba para reducir los gradientes y las cargas sobre el cimiento.

4.2.4.4 Drenaje aguas abajo. Para controlar las presiones intersticiales y facilitar el monitoreo, se recomienda instalar un dren longitudinal y/o un tapete drenante en el pie de la presa.

4.2.4.5 Instrumentación y verificación. Se deberá implementar un sistema de piezómetros en el eje y márgenes de la presa. Además, se deben conservar los registros de inyección para evaluar la eficacia de la cortina y realizar ensayos Lefranc o Slugs posteriores al tratamiento, con el fin de verificar la reducción de la permeabilidad.

4.2.5 Recomendaciones de tratamiento del terreno

Se dan recomendaciones para cada tipo de suelos y para el mejoramiento del terreno en general.

4.2.5.1 Suelo Z-A. Material al que se recomienda:

- Retiro bajo el eje, en caso que permanezca o almacene se recomienda una mejora con compactación y/o estabilización con cal/cemento (siempre fuera de las zonas de filtros/zonas selectas).
- Control estricto de humedad durante la construcción.

4.2.5.2 Suelo Z-B. Es un material de alta permeabilidad que puede ser removido o utilizado como capa de cimentación, sin embargo, se eligió ser removido, a manera general se dan las recomendaciones siguientes:

- Densificación de sectores sueltos (compactación pesada; vibro reemplazo si la granulometría lo permite), en caso de utilizarse para la cimentación de la presa o alguna estructura relativa a la presa.
- Corte hidráulico (zanja suelo cemento) o impermeabilización por inyección de permeación con cementos microfinos/silicatos en subzonas más limpias.
- Filtros y transiciones adecuados para evitar el fenómeno de sufusión al ser un material con alto contenido de material fino.

4.2.5.3 Suelo Z-C. Se eligió esta capa para la cimentación de la presa, sin embargo, para su utilización es necesario un proceso previo de mejoramiento de sus propiedades hidráulicas, por lo que se recomienda:

- Implementar una campaña de inyecciones que garanticen la impermeabilización hasta cotas con mejores condiciones de permeabilidad o hasta donde sea necesario según los cálculos de redes de flujo subterráneo. Esta cortina de

impermeabilización debe garantizar la estanqueidad del agua en las épocas de mayores precipitaciones pluviales.

- Realizar ensayos de permeabilidad después de la campaña de inyecciones para verificar la impermeabilización de todo el eje de presa. Para ello se debe considerar ensayos tipo Lefranc y Lugeon. Estos ensayos permiten garantizar que no existan fugas de agua.

4.2.5.4 Suelo Z-D. Se verifico la existencia de esta capa con los métodos geofísicos eléctricos, el suelo Z-D presenta valores de permeabilidad más bajos, sin embargo, el diseño de la cimentación de la presa y la cortina de impermeabilización no contempló llegar hasta esta capa, debido a que los cálculos hidráulicos, mostraron que no sería necesario llegar hasta esta profundidad. A pesar de ello, el conocimiento de la existencia de mejores condiciones hidráulicas a mayor profundidad garantizaría que si falla la campaña de mejoramiento del terreno de cimentación, es posible profundizar más las inyecciones y encontrar mejores condiciones hidráulicas y geotécnicas.

4.2.5.5 Medidas transversales para todos los suelos. A manera general se contemplan las siguientes recomendaciones:

- Programar trabajos fuera de temporada de lluvias (minimiza sesgos en TRE y mejora de compactación).
- Control topográfico y registro final de las dimensiones y ubicación reales de las excavaciones y pantallas
- Plan de monitoreo post obra (piezometría, auscultación).

Conclusiones

La geología de la cuenca de la Laguna Arín (vertiente oriental de la Cordillera Blanca, Áncash) muestra un relieve montañoso con valle en “U” de origen glaciar pleistocénico, donde afloran morrenas, llanuras y rellenos lacustres, terrazas aluviales y abanicos coluviales. Estratigráficamente predominan areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga (unidad competente para cimentación, con fracturamiento y permeabilidad primaria y secundaria relevantes) y, en laderas altas, calizas y margas de las formaciones Crisnejas y Jumasha (localmente meteorizadas y fisuradas). Los depósitos cuaternarios (morrénicos, lacustres, aluviales y coluviales) exhiben comportamiento geotécnico variable según compactación, pendiente y contenido de humedad, condicionando estabilidad y posibles filtraciones. Estructuralmente se reconoce una falla inversa regional de rumbo NNO a SSE y pliegues anticlinales y sinclinales con buzamientos entre 30 y 60 grados, sin evidencia de actividad reciente (aunque influyentes en la distribución del fracturamiento, la permeabilidad y la estabilidad de taludes). La geodinámica externa activa combina procesos glaciares y periglaciares, gravitacionales, fluviales y lacustres, además de meteorización (incluido lapiaz en calizas), que inciden en erosión, socavación y movilidad de laderas. Las investigaciones de campo (perforaciones, calicatas, ERT y SEV, refracción sísmica y MASW) corroboran la secuencia descrita y aportan control espacial para integrar litología, estructura y depósitos recientes.

La integración de los métodos geofísicos aplicados, tales como los ensayos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), ensayos de Refracción Sísmica y ensayos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), con la información geotécnica directa de calicatas, perforaciones y ensayos in situ (SPT/Cono Peck y Lefranc) permitió construir un modelo geológico-geotécnico continuo y consistente a lo largo del eje de la presa. Dicho modelo define una secuencia estratigráfica estable compuesta por una cobertura fina (Z-A), un paquete granular (Z-B), una transición meteorizada de roca arenisca (Z-C) y roca arenisca competente (Z-D). Se redujo de

manera significativa la incertidumbre en la localización del estrato competente. Este marco integrado sustenta los criterios de cimentación e impermeabilización propuestos para el proyecto.

Los perfiles geofísicos delimitaron con claridad la disposición y continuidad lateral de las unidades. La cobertura fina Z-A (CH-CL) muestra un espesor variable por progresivas: mínima entre las progresivas 0+140 a 0+200 (alrededor de 0,5 a 1,0 m) y máxima entre 0+280 a 0+320 (aproximadamente 1,8–2,8 m). El cuerpo granular Z-B (GC-GM) es más grueso en los extremos del eje (alrededor de 5 a 10 m entre 0+000 a 0+120 y cerca de 6 a 12 m entre las progresivas 0+240 y 0+348) y más delgado en el tramo central (2 a 6 m entre 0+120 a 0+240). La transición Z-C presenta espesores del orden de 15 a 25 m hacia el oeste y 10 a 18 m hacia el este, en concordancia con la geometría del basamento. La TRE evidenció zonas de baja resistividad ($< 50 \Omega \cdot m$) asociadas a suelos finos saturados y resistividades intermedias (entre 80 a 150 $\Omega \cdot m$) en los granulares, mientras que valores altos ($> 200 \Omega \cdot m$) se relacionan con materiales más competentes; los SEV verificaron en profundidad estos contrastes y su continuidad.

Los perfiles MASW determinaron valores de V_{s30} entre 433 y 841 m/s, lo que, según la NTP E.030, ubica el emplazamiento entre S2 (suelo intermedio) y S1 (suelo muy rígido). Este patrón muestra mayor rigidez hacia los flancos del eje y condiciones relativamente más blandas en el tramo central, en coherencia con la variación de espesores de las unidades estratigráficas. La Refracción Sísmica registró V_p bajas (menores a 1000-1200 m/s) en los primeros metros, compatibles con la cobertura fina saturada, y V_p superiores a 2000-2200 m/s donde se reconocen materiales más competentes. En los ensayos de penetración, la cobertura Z-A presentó NSPT = 3-10 (consistencia blanda a media), mientras que en el paquete granular Z-B el Cono Peck alcanzó NCono Peck = 15-43 entre 2,7 y 14 m, indicando compacidad media a alta y confirmando la tendencia de incremento de V_p y V_s . En los ensayos Lefranc, las permeabilidades variaron entre $8,90 \times 10^{-2}$ y $3,16 \times 10^{-3}$ cm/s, con disminución progresiva con la profundidad a medida que se pasa de suelos granulares a transición/arenisca. La

zonificación geotécnica permitió agrupar sectores con similares parámetros geotécnicos (NSPT/NCono Peck y k), de modo que, en tramos sin calicatas o perforaciones, se determinaron valores de permeabilidad y resistencia mediante la calibración local entre resistividad- k y la coherencia con las velocidades sísmicas con NSPT/NCono Peck. De este modo se pudieron determinar estos parámetros geotécnicos en todo el eje de la presa.

La correlación de los ensayos geofísicos con las calicatas y las perforaciones permitió construir un perfil integrado con espesores y cotas referidas por progresivas, capaz de representar la heterogeneidad lateral a lo largo del eje. De manera consistente, los dominios de baja resistividad se asocian con velocidades sísmicas bajas (V_p y V_s), valores reducidos de NSPT/NCono Peck y presencia de materiales finos y saturados; en cambio, los sectores con resistividades mayores muestran V_p y V_s más altas, resultados elevados en el Cono Peck y materiales granulares o de arenisca meteorizada de mejor comportamiento. Esta concordancia entre métodos valida la interpretación, reduce la incertidumbre del modelo y ofrece una base robusta para la toma de decisiones de ingeniería en cuanto a cimentación e impermeabilización.

Las áreas de mayor riesgo hidráulico se asocian a los tramos donde el paquete granular Z-B es más espeso y a las interfaces Z-B/Z-C, en las que la variabilidad litológica favorece trayectorias preferenciales de flujo. Destacan como sectores críticos los extremos del eje (0+000-0+120 y 0+240-0+348), mientras que el tramo central, con menor espesor granular, presenta un comportamiento más favorable. En el componente rocoso (Z-C/Z-D) se reconoció heterogeneidad vinculada a meteorización y fracturamiento, lo que confirma la necesidad de tratamientos de impermeabilización.

En conjunto, las evidencias obtenidas cumplen el objetivo general y responden a los objetivos específicos, proporcionando un modelo geológico-geotécnico robusto del eje de presa, con parámetros medidos (resistividad, V_p , V_s , V_{s30} , NSPT/NCono Peck, k), cotas y espesores por progresivas y la localización de tramos prioritarios para control de filtraciones y mejoramiento del terreno. Este marco sustenta el dimensionamiento de la cimentación, la definición de la cortina de impermeabilización y la planificación de

tratamientos diferenciales necesarios para garantizar el desempeño y la seguridad de la presa.

Recomendaciones

A partir de los resultados de la investigación se consideran las siguientes recomendaciones:

Incorporar estudios geofísicos desde las fases iniciales de proyectos de infraestructura en areniscas, a fin de mejorar la caracterización del subsuelo y optimizar el diseño de cimentaciones y tratamientos.

Integrar métodos geofísicos y geotécnicos (TRE, SEV, Refracción Sísmica, MASW, SPT/Cono Peck, Lefranc), pues la correlación de parámetros eléctricos, sísmicos y de campo reduce la incertidumbre en la evaluación de riesgos.

Aplicar métodos geofísicos eléctricos y sísmicos en zonas con alta permeabilidad y fracturamiento para detectar trayectorias de filtración y definir con mayor precisión cortinas de impermeabilización y profundidades de tratamiento.

Actualizar y validar los modelos con ensayos y verificaciones de campo (por ejemplo, ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon después de la campaña de inyecciones, confirmación de profundidades de roca por sondeos complementarios), asegurando que la interpretación represente fielmente las condiciones reales.

Desarrollar y mantener correlaciones locales geofísica–geotecnia en areniscas (por ejemplo, resistividad–permeabilidad y V_p/V_s –competencia), a partir de datos propios del proyecto y de la cuenca, para mejorar la estimación de propiedades donde no haya ensayo directo.

Implementar programas de monitoreo en proyectos con mayor riesgo de inestabilidad o filtraciones, combinando instrumentación hidrogeotécnica (piezómetros, asentamientos) con levantamientos geofísicos periódicos para evaluar cambios en el subsuelo.

Considerar explícitamente la saturación en la interpretación geofísica, dado que el contenido de agua afecta la resistividad y las velocidades sísmicas, condicionando la evaluación de la calidad del terreno y la zonificación de tratamientos.

Emplear herramientas de modelación e inversión avanzadas (2D/3D, inversión conjunta o cooperativa) para la integración de datos TRE–SEV–Vp–Vs y la construcción de modelos estratigráficos continuos con control altimétrico.

Incorporar la evaluación geofísica en lineamientos y especificaciones de proyectos en areniscas, promoviendo su referencia en la normativa aplicable (p. ej., coherencia con NTP E.030 y E.050) para el diseño y la verificación en obra.

Realizar estudios comparativos de técnicas (TRE, SEV, refracción, MASW) orientados a la detección de discontinuidades, variaciones de permeabilidad y contrastes de rigidez, seleccionando el conjunto más eficaz según objetivos y condiciones del sitio.

Fomentar el uso de sensores y equipos con mejor desempeño metrológico, definiendo criterios de selección y control de calidad (contacto electrodo–suelo, anclaje de geófonos, corrección topográfica), a fin de mejorar la precisión y la trazabilidad de los datos.

Referencias bibliográficas

- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J. & Knutsson, S. (2020). *Geophysical methods and their applications in dam safety monitoring*. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 291–345. <https://doi.org/10.47260/jesge/1118>
- ASTM International. (2018). *ASTM D6431-18: Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Site Characterization*.
<https://doi.org/10.1520/D6431-18>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2007). *Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarmey – estudio hidrológico en la cuenca del río Huarmey* (Informe Final). Lima: ANA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/3869>
- Bear, J. (1988). *Dynamics of fluids in porous media*. Dover.
- Brewer, J. (2015). *Seismic refraction*. Obtenido de <https://brewerengineering.com/seismic-refraction/>
- Bureau de Normalisation du Québec (BNQ). (2014). *Soils - Determination of the Coefficient of Permeability by the Lefranc Method*.
- Casco, M. (2023). *Estudio geológico-geotécnico para el diseño de la presa Tullpacancha, provincia Churcampa-Huancavelica*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Chumbe, R. (2018). *Aplicación de métodos geofísicos en los estudios geotécnicos para centrales hidroeléctricas*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Dobrin, M. & Savit, C. (1988). *Introduction to geophysical prospecting*. Singapur: McGraw-Hill.
- ECCSAM S.R.L. (2022). *Informe de hidrología*. En Municipalidad Distrital de Ponto (Ed.), Expediente técnico de la obra “Creación y afianzamiento hídrico de la represa Arín, distrito de Ponto, provincia de Huari, departamento de Ancash” (CUI N.º 2505908, pp. 45–78). Municipalidad Distrital de Ponto. <https://www.seace.gob.pe/>

- ECCSAM S.R.L. (2022). *Informe de Geología*. En Municipalidad Distrital de Ponto (Ed.), Expediente técnico de la obra “Creación y afianzamiento hídrico de la represa Arín, distrito de Ponto, provincia de Huari, departamento de Ancash” (CUI N.° 2505908, pp. 45–78). Municipalidad Distrital de Ponto. <https://www.seace.gob.pe/>
- ECCSAM S.R.L. (2022). *Informe de Perforación Geotécnica*. En Municipalidad Distrital de Ponto (Ed.), Expediente técnico de la obra “Creación y afianzamiento hídrico de la represa Arín, distrito de Ponto, provincia de Huari, departamento de Ancash” (CUI N.° 2505908, pp. 45–78). Municipalidad Distrital de Ponto. <https://www.seace.gob.pe/>
- ECCSAM S.R.L. (2022). *Informe de Exploración Geofísica*. En Municipalidad Distrital de Ponto (Ed.), Expediente técnico de la obra “Creación y afianzamiento hídrico de la represa Arín, distrito de Ponto, provincia de Huari, departamento de Ancash” (CUI N.° 2505908, pp. 45–78). Municipalidad Distrital de Ponto. <https://www.seace.gob.pe/>
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. & Foster, M. (2015). *Geotechnical engineering of dams*. CRC Press.
- Gołębiowski, T., Piwakowski, B., Ćwiklik, M. & Bojarski, A. (2021). *Application of combined geophysical methods for the examination of a water dam subsoil*. Water (Switzerland). <https://doi.org/10.3390/w13212981>
- Haramboure, Y. (2021). *Criterios generales para el diseño de presas*. <https://www.researchgate.net/publication/355805177>
- Hickey, C., Römckens, M., Wells, R. & Wodajo, L. (2015). *Geophysical methods for the assessment of earthen dams*. En *Advances in Water Resources Engineering* (pp. 297–359). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11023-3>
- Hunt, R. (2005). *Geotechnical engineering investigation handbook*. Taylor & Francis.
- International Code Council (ICC). (2012). *2012 International Building Code*. U.S.A.

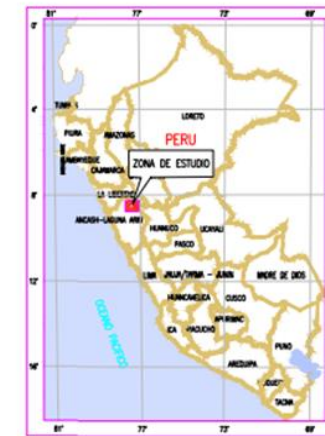
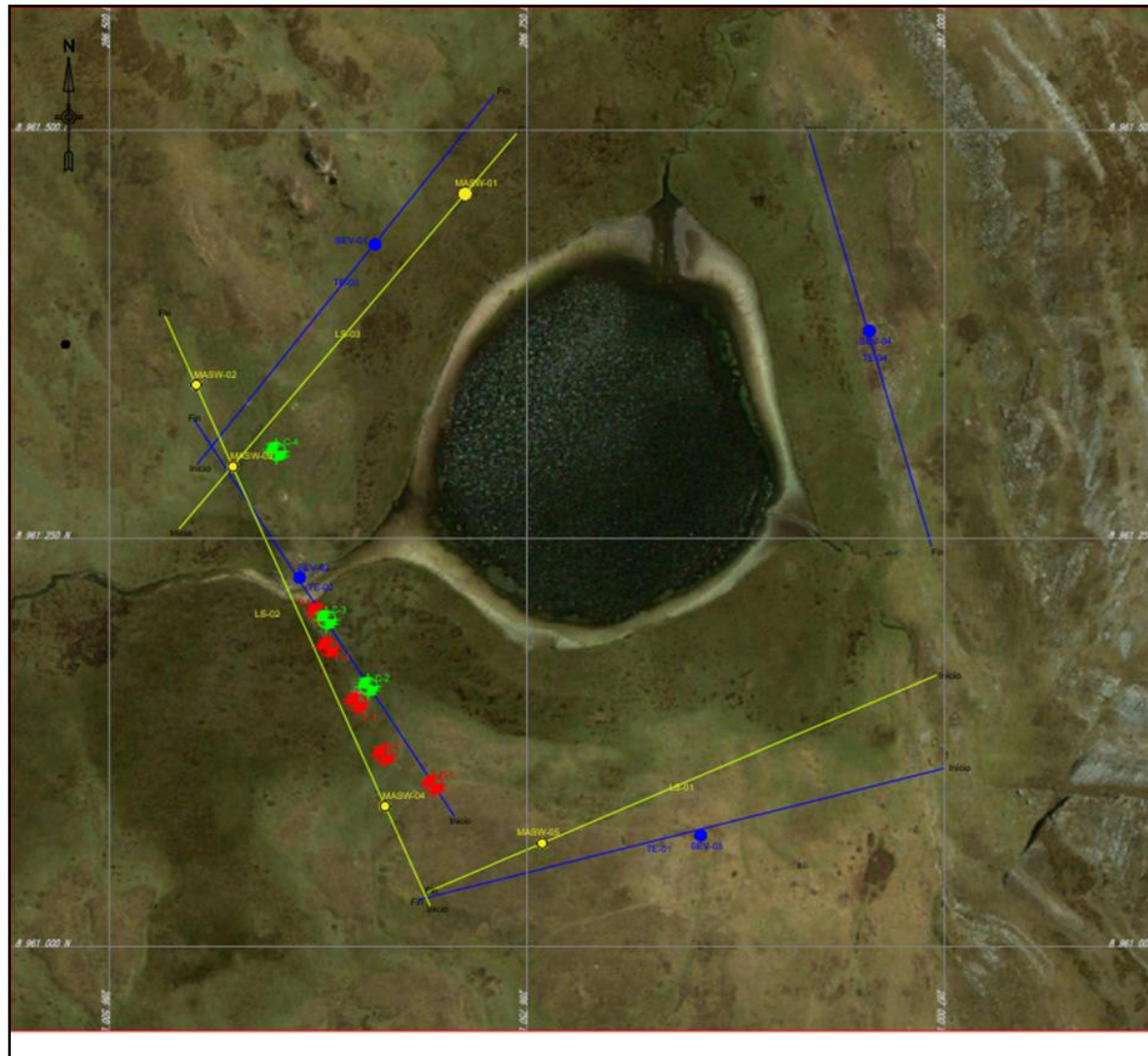
- Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN). (2023). *Límites departamentales del Perú* (shapefile) (Archivo vectorial SIG). Recuperado el 13 de julio de 2025, de <https://www.ign.gob.pe/>
- Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN). (2023). *Red hidrográfica del Perú* (shapefile) (Archivo vectorial SIG). Recuperado el 13 de julio de 2025, de: <https://www.ign.gob.pe/>
- International Commission on Large Dams (ICOLD). (2005). *Dam Foundations: Geologic considerations, investigation methods, treatment, monitoring* (Bulletin 129). Paris: ICOLD.
- Karol, R. (2003). *Chemical grouting and soil stabilization* (M. Meyer, Ed.; 3rd ed.).
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.).
- Kneisel, C., Uhlemann, S., & Chambers, J. (2023). Editorial: *Advances in the application of multi-dimensional geophysical surveys en Earth and environmental sciences*. *Frontiers in Earth Science*, 11(1138551). <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1138551>
- León, W., Palacios, O., Vargas, L., Sánchez, A. (1999). *Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Perú* escala 1:1000000. Lima, Perú: Dirección Carta Geológica Nacional - INGEMMET.
- Locke, M. (2021). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Malasia.
- Look, B. (2007). *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Taylor & Francis.
- Maldonado, M. (2014). *An introduction to the bofedales of the peruvian high andes*. *Mires and peat*, 15(5), 1–13. <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map15/map1505.php>
- Mebrahtu, G., Abay, A., Hailu, G. & Hagos, M. (2020). *Electrical resistivity imaging and engineering geological investigation of Gereb Segen dam, northern Ethiopia*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(1), 83–95. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01577-0>.

- Menke, W. (2024). *Geophysical data analysis and inverse theory with MATLAB and Python* (5th ed.). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13794-5.00002-6>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente*. Lima, Perú.
- Park, C. (2013). *MASW for geotechnical site investigation*. *Geophysics*, 656–662.
- Quispe, J. (2021). *Recuperación de pastizales degradados con gramíneas nativas y materia orgánica en las praderas de pajonales de la estación experimental agraria Illpa – Inia – Puno* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16719>
- Sari, M., Seren, A. & Alemdag, S. (2020). *Determination of geological structures by geophysical and geotechnical techniques in Kirklartepe Dam Site (Turkey)*. *Journal of Applied Geophysics*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104174>
- Sjögren, B. (1979). *Seismic classification of rock mass qualities*. *Geophysical Prospecting*, 409–442.
- Spasic-Gril, L. (2023). *Dams Safety and Society*. <https://doi.org/10.1201/9780429320453>
- Thabet, H., Kotb, A., Khaled, M. & Amria, M. (2020). *Geophysical investigation for detecting the groundwater occurrence along Qift El-Quseir Road, Eastern Desert, Egypt*. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 10(3), 545– 563. <https://doi.org/10.36632/mejas/2020.10.3.47>
- Vasconcelos, I. & Andrade, H. (2024). *The relationship between geophysical and geotechnical data: a temporal analysis of an iron ore tailings dam*. *Soils and Rocks*, 47(4), e2024011923. <https://doi.org/10.28927/sr.2024.011923>
- Vilca, C. (2024). *Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) para definir el tipo de presa en el sector Tullpacancha - Huancavelica*. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Plano de ubicación de ensayos realizados	1
Anexo 2: Perfiles de ensayos geofísicos.....	2
Anexo 3: Logueos geotécnicos de perforaciones.....	9
Anexo 4: Certificados de calibración de equipos utilizados	18

Anexo 1: Plano de ubicación de ensayos realizados



UBICACION DEPARTAMENTAL SIN ESCALA

LEYENDA DE PUNTOS DE EXPLORACION

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Perforación diamantina
	Cebasto
	Refracción Sísmica
	MASW
	Tomografía Eléctrica
	SEV

REL. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROB.
1	11/20	EMITEO PLAN REGION Y/O APROBACION	S.A.L.	S.A.L.

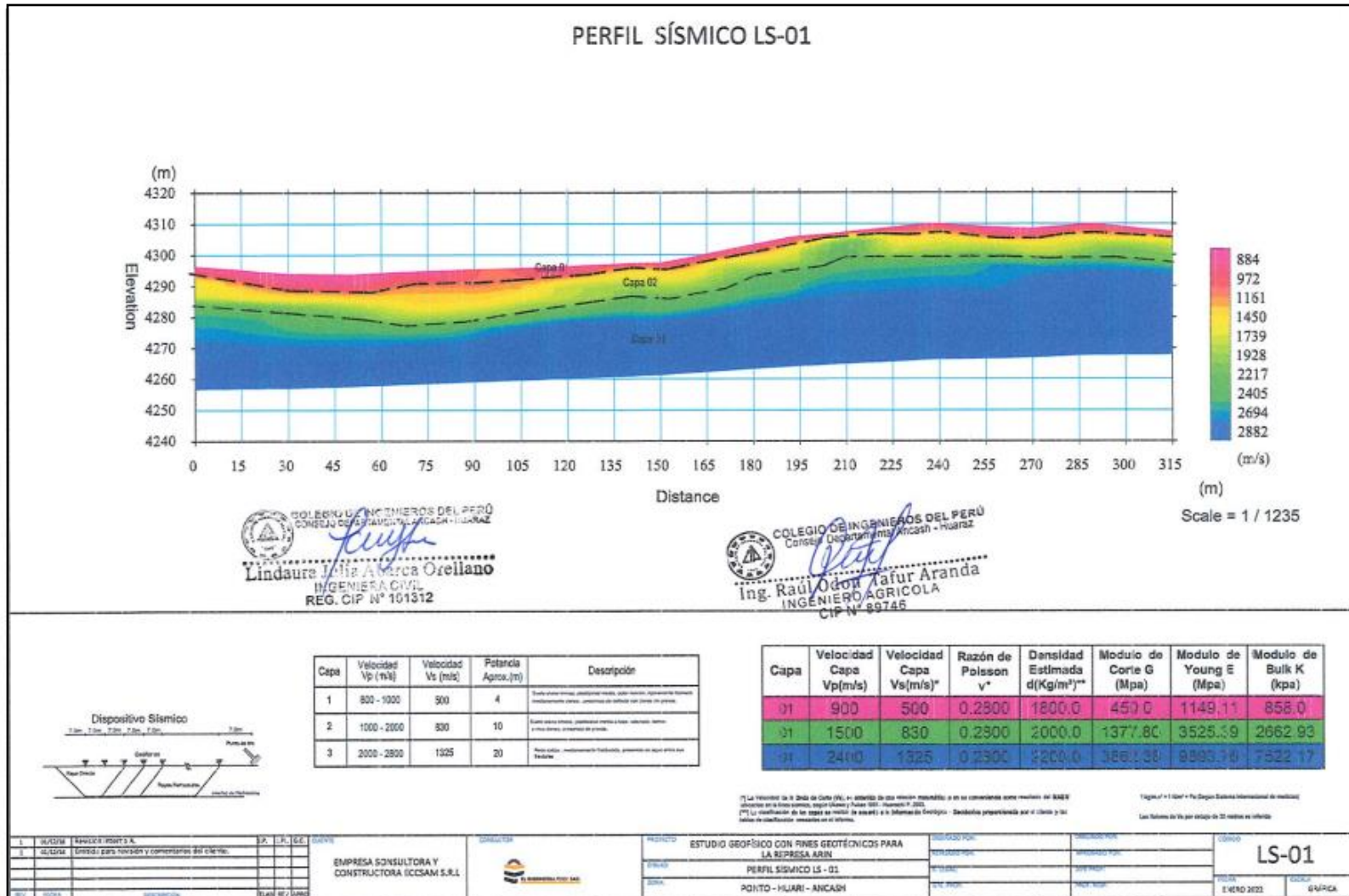
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERIA Y METALURGIA

PLANO DE UBICACIÓN DE ENSAYOS GEOTÉCNICOS Y GEOFÍSICOS DE CAMPO

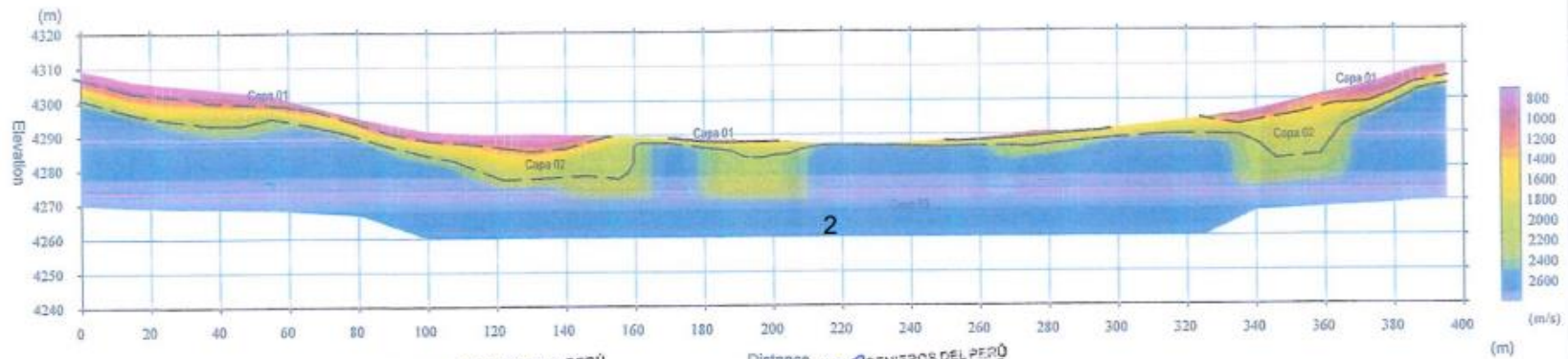
PLANO: PU-01

ELABORÓ:	REVISÓ:	INSCRIBIÓ:	NOTA:
AAA	AAA	AAA	1
ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:	REVISÓ:
AAA	AAA	11/20	1

Anexo 2: Perfiles de ensayos geofísicos



PERFIL SÍSMICO LS-02

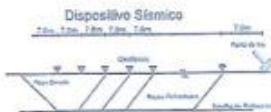


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Consejo Departamental Ancash - Huaraz

Raúl Odon Tatur Aranda
INGENIERO AGRICOLA
CIP N° 89746

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Consejo Departamental Ancash - Huaraz

Lidia María Orellano
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101312



Capa	Velocidad Vp (m/s)	Velocidad Vs (m/s)	Potencia Aprox. (m)	Descripción
1	800 - 1000	500	4	Suele estar constituido por arena, arcilla, limo y grava, con poca cohesión y poca resistencia.
2	1800 - 2000	830	10	Suele estar constituido por arena, arcilla, limo y grava, con poca cohesión y poca resistencia.
3	2000 - 2800	1325	20	Suele estar constituido por arena, arcilla, limo y grava, con poca cohesión y poca resistencia.

Capa	Velocidad Capa Vp (m/s)	Velocidad Capa Vs (m/s)*	Razón de Poisson v*	Densidad Estimada d(Kg/m³)**	Modulo de Corte G (Mpa)	Modulo de Young E (Mpa)	Modulo de Bulk K (kpa)
01	900	500	0.2800	1800.0	450.0	1149.11	858.0
01	1500	830	0.2800	2000.0	1377.80	3525.39	2662.93
01	2400	1325	0.2800	2200.0	3862.38	9693.76	7522.17

(*) La Velocidad de la Onda de Corte (Vs) es obtenida de una relación empírica y se ha considerado como resultado del 80% aplicado en la Base Sísmica, según Norma y Norma 1987 - Norma 7, 2015.
(**) La densidad de las capas de suelo de acuerdo a la clasificación de Terzaghi - Biotzky proporcionalmente por el tipo y las clases de distribución de suelos en el terreno.

(*) $\nu = 1 - 2\mu^2 / (1 + \mu^2)$ según Norma 1987 - Norma 7, 2015.
Los Valores de Vs por debajo de 20 metros se toman como constantes.

Robert Anthony Chumbe Ventura
INGENIERO GEOLOGO
CIP N° 243544

N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO
1	03/02/2022	Elaboración del Perfil Sísmico LS-02		
2	03/02/2022	Revisión del Perfil Sísmico LS-02		

EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA SOCSAM S.A.S.

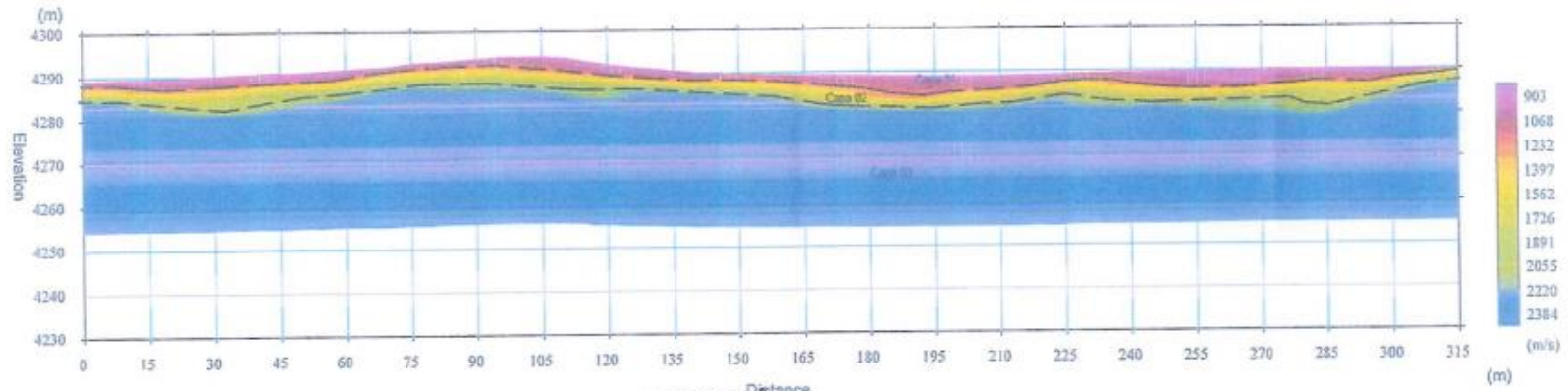


ESTUDIO GEOTECNICO CON PUNOS GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIM
PERFIL SÍSMICO LS - 02
PUNTO - HUARI - ANCASH

PROYECTO	FECHA	ESTADO
ESTUDIO GEOTECNICO CON PUNOS GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIM	03/02/2022	EN EJECUCION

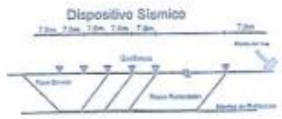
TITULO	FECHA
LS-02	03/02/2022

PERFIL SÍSMICO LS-03




COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Consejo Departamental Ancash - Huánuco
[Signature]
Ing. Raúl Odon Tovar Aranda
 INGENIERO AGRÍCOLA
 CIP N° 89746


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Consejo Departamental Ancash - Huánuco
[Signature]
Lindauro de la Cruz Oreilano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312



Capa	Velocidad Vp (m/s)	Velocidad Vs (m/s)	Potencia Aprox.(m)	Descripción
1	800 - 1000	500	4	Sedimentos finos, arenosos, saturados, con poca cohesión, alta permeabilidad.
2	1000 - 2000	830	10	Sedimentos gruesos, arenosos, saturados, con poca cohesión, alta permeabilidad.
3	2000 - 2300	1325	20	Sedimentos gruesos, arenosos, saturados, con poca cohesión, alta permeabilidad.

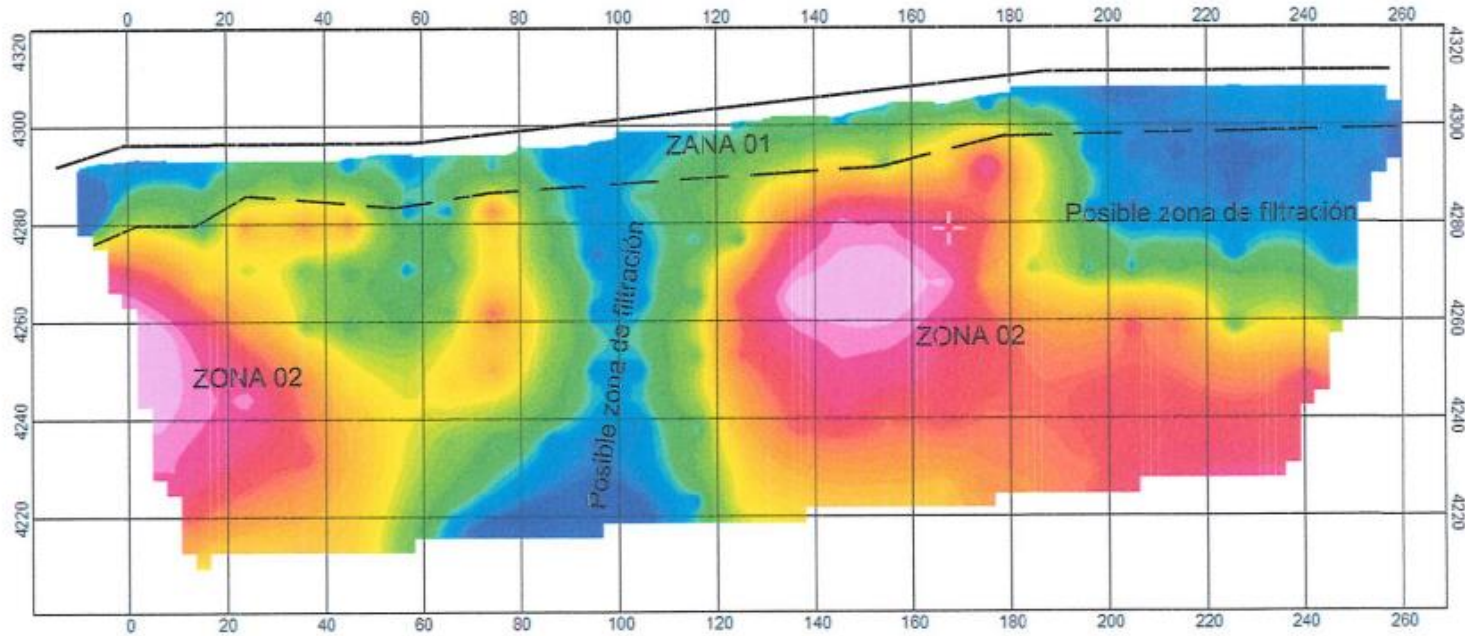
Capa	Velocidad Capa Vp(m/s)	Velocidad Capa Vs(m/s)**	Razón de Poisson ν^*	Densidad Estimada d(Kg/m ³)**	Modulo de Corte G (Mpa)	Modulo de Young E (Mpa)	Modulo de Bulk K (kpa)
01	900	500	0.2800	1800.0	450.0	1149.11	858.0
01	1500	830	0.2800	2000.0	1377.80	3525.39	2662.93
01	2400	1325	0.2800	2200.0	3862.38	9893.76	7522.17

(*) La velocidad de la Capa de Corte (Vs) es elástica de una velocidad constante y en su consecuencia como resultado del SISMOS
 obtenida mediante análisis según Norma E-060 - Norma 067, 2002.
 (**) La densidad de las capas se refiere al material y la información geológica - horizontes presentados por el estudio y los
 datos de clasificación obtenidos en el terreno.

El estudio de la Capa de Corte (Vs) es elástico de una velocidad constante y en su consecuencia como resultado del SISMOS
 obtenida mediante análisis según Norma E-060 - Norma 067, 2002.
 (**) La densidad de las capas se refiere al material y la información geológica - horizontes presentados por el estudio y los
 datos de clasificación obtenidos en el terreno.

1 00.00.00 2 00.00.00	EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA ECCSAM S.R.L. 	ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIW PERFIL SÍSMICO LS - 03 PONTO - HUARI - ANCASH	15.03.2022 ROBERTO VENTURA INGENIERO GEOTECNICO CIP N° 24334
--------------------------	---	---	---

PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-01



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ

Lindaaura

Lindaaura Julia Abarca Orellano
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101312

zona	Potencia Aprox.(m)	Descripción
1	20	Esta zona tiene potencialmente un problema de gran filtración del agua.
2	40	Esta zona tiene potencialmente filtración a más profundidad, con gran aporte de filtración.

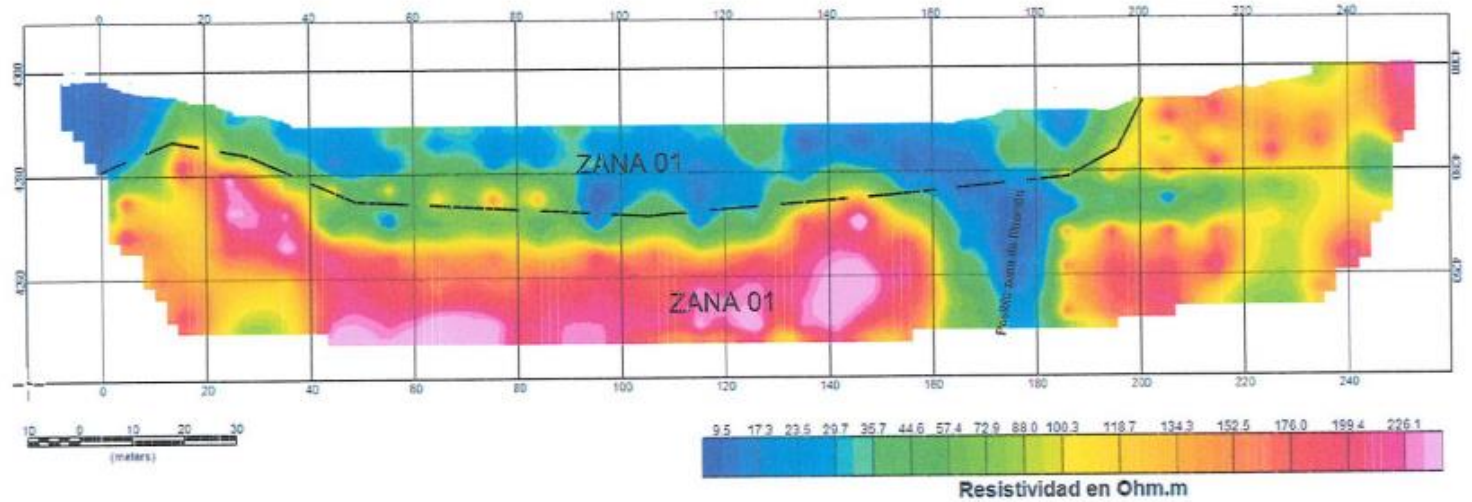
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ

Raúl Odon

Ing. Raúl Odon Tafur Aranda
INGENIERO AGRÍCOLA
CIP N° 89746

1	05/2018	Revisión y entrega de A.	SA	J.P.	S.E.	04/11/18	CONSULTOR	EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA ECCSAM S.R.L.	PROYECTO	ESTUDIO GEOTÉCNICO CON FINES SECTECNICOS PARA LA REPRESA ARIN	ENCARGADO POR	INGENIERO POR	COORDINADOR	TE-01
2	05/2018	Revisión para revisión y comentarios del cliente.							OBJETIVO	PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-01	ENCARGADO POR	INGENIERO POR		
									UBICACIÓN	PUNTO - I-LUARI - ANCASH	ENCARGADO POR	INGENIERO POR		
REV	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ										

PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-02



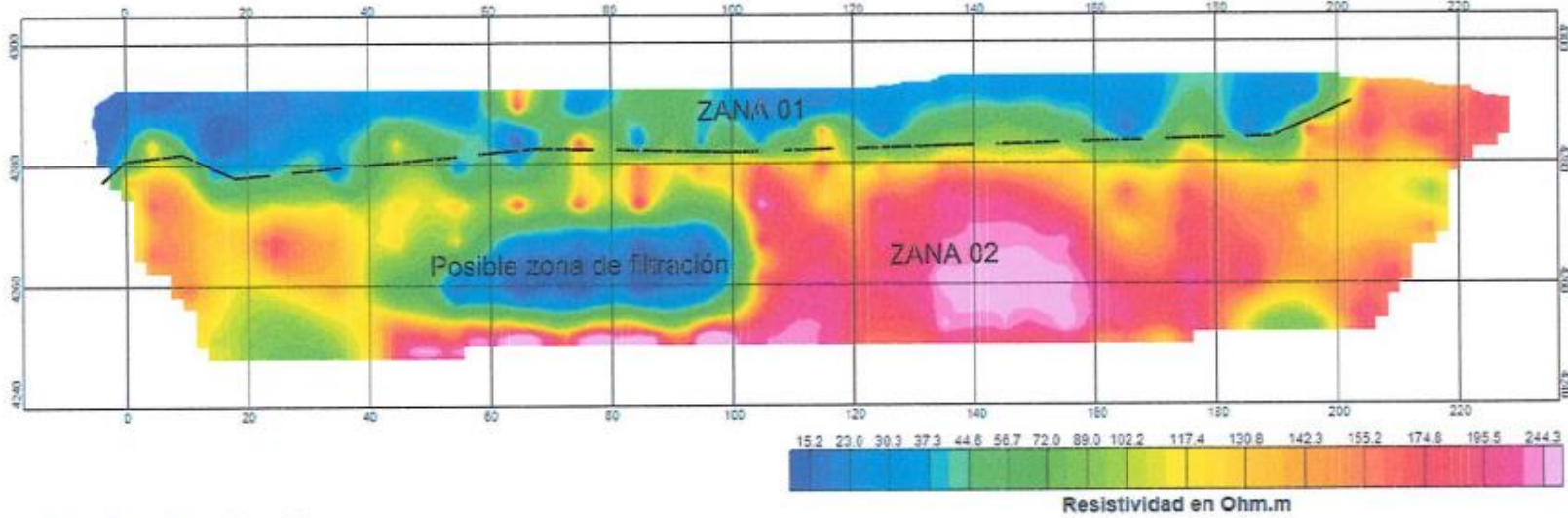

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ
Lindaura Julia Abarca Orellano
Lindaura Julia Abarca Orellano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Consejo Departamental Ancash - Huaraz
Ing. Raúl Odon Tafur Aranda
Ing. Raúl Odon Tafur Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89746

zns	Potencia Aprox.(m)	Descripción
1	20	Suelo arenoso limoso, planicie fértil, con presencia de grava aluvial, con elevación de agua.
2	20	Alta salina, Impermeable, Pastoreo y muy frías, con pozos para el ganado.

<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>ELABORAR</td> <td>PROFESIONISTA S. R. L.</td> <td>E.P.</td> <td>L.A.</td> <td>S.E.</td> <td>CLIENTE</td> <td>EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA ECCSAM S.R.L.</td> <td>  </td> <td> PROYECTO: ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIN OBJETIVO: PERFIL TOMOGRAFIA ELÉCTRICA TE-02 ZONA: PONTO - HUARI - ANCASH </td> <td> ELABORADO POR: REVISADO POR: APROBADO POR: FECHA: 01/02/2022 ESCALA: </td> <td> TÍTULO: TE-02 FECHA: 01/02/2022 ESCALA: GRÁFICA </td> </tr> </table>	1	ELABORAR	PROFESIONISTA S. R. L.	E.P.	L.A.	S.E.	CLIENTE	EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA ECCSAM S.R.L.		PROYECTO: ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIN OBJETIVO: PERFIL TOMOGRAFIA ELÉCTRICA TE-02 ZONA: PONTO - HUARI - ANCASH	ELABORADO POR: REVISADO POR: APROBADO POR: FECHA: 01/02/2022 ESCALA:	TÍTULO: TE-02 FECHA: 01/02/2022 ESCALA: GRÁFICA
1	ELABORAR	PROFESIONISTA S. R. L.	E.P.	L.A.	S.E.	CLIENTE	EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA ECCSAM S.R.L.		PROYECTO: ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIN OBJETIVO: PERFIL TOMOGRAFIA ELÉCTRICA TE-02 ZONA: PONTO - HUARI - ANCASH	ELABORADO POR: REVISADO POR: APROBADO POR: FECHA: 01/02/2022 ESCALA:	TÍTULO: TE-02 FECHA: 01/02/2022 ESCALA: GRÁFICA	


PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-03



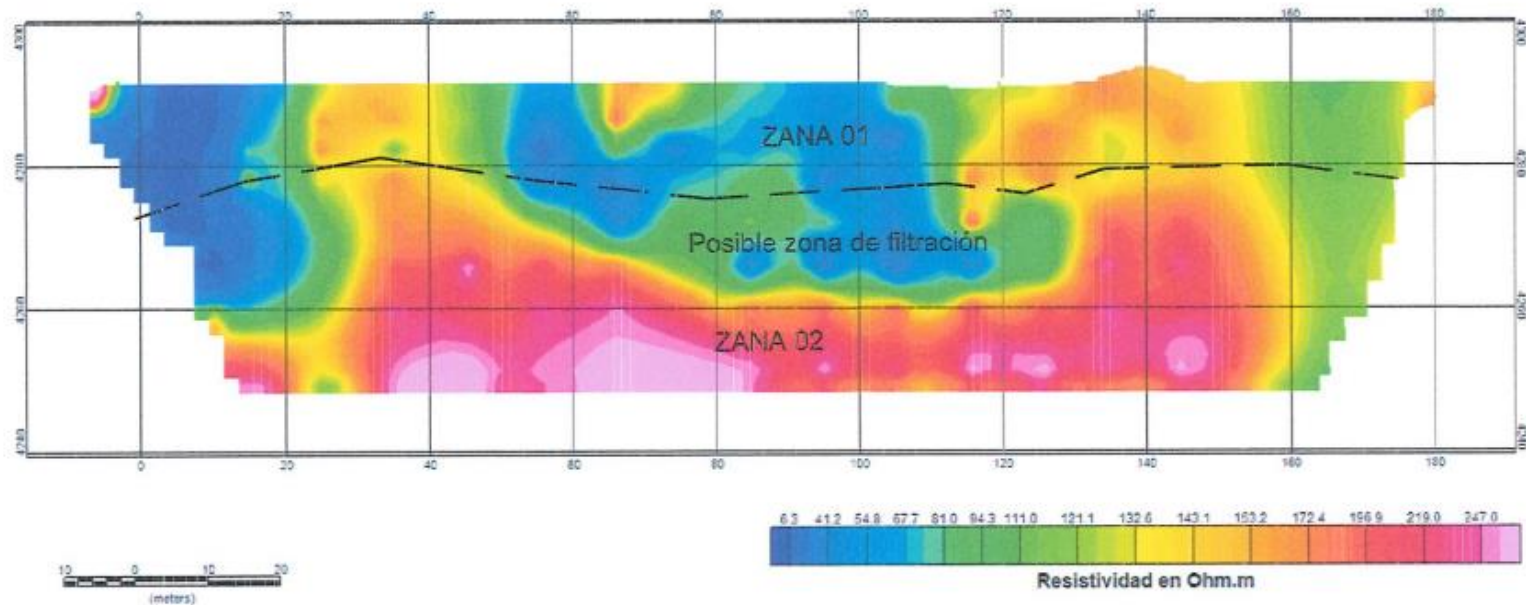

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ
Lindaura Julia Abarca Orellano
Lindaura Julia Abarca Orellano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ
Ing. Raúl Odón Tatur A...
Ing. Raúl Odón Tatur A...
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89746

zona	Potencia Aprox.(m)	Descripción
1	20	Redes de agua (canales, perforación) desde las presas en grandes arroyos, con saturación de agua.
2	20	Redes de agua, probablemente saturadas y muy filtración, con un nivel de agua en 10 metros.

<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>ELABORAR</td> <td>PROYECTO Y DISEÑO</td> <td>1</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>REVISAR</td> <td>REVISIÓN Y CORRECCIÓN DEL DISEÑO</td> <td>1</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </table>	1	ELABORAR	PROYECTO Y DISEÑO	1	100%	100%	2	REVISAR	REVISIÓN Y CORRECCIÓN DEL DISEÑO	1	100%	100%	CONSULTOR  EMPRESA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA EICSA S.R.L.	PROYECTO ESTUDIO GEOFÍSICO CON FINES GEOTECNICOS PARA LA REPRESA ARIN OBJETIVO PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-03 ZONA PONTO - HUARI - ANCASH	ELABORADO POR Ing. Raúl Odón Tatur A... REVISADO POR Ing. Raúl Odón Tatur A... APROBADO POR Ing. Raúl Odón Tatur A...	CÓDIGO TE-03 FECHA ENERO 2022 ESCALA 1:1000
1	ELABORAR	PROYECTO Y DISEÑO	1	100%	100%											
2	REVISAR	REVISIÓN Y CORRECCIÓN DEL DISEÑO	1	100%	100%											


PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA TE-04




 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL ANCASH - HUARAZ
Lindauro
 Lindauro Julia Abarca Orellano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312

ZONA	Potencia Aprox.(m)	Descripción
1	20	Base zona filtro, construida sobre un terreno de gran angulos, en relación de agua.
2	20	Base zona, construida fabricada a poca profundidad, sin posible zona de filtración.


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Consejo Departamental Ancash - Huaraz
Raúl
 Ing. Raúl Odon Tafur Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89746

1	ELABORA	SANCIONA	E.P.	I.A.	E.C.	C.A.P.T.	CONSULTOR		PROYECTO	ESTUDIO GEOTECNICO CON PRUEBAS GEOTECNICAS PARA LA REPRESA ARIN	DISEÑO POR	REVISADO POR	CÓDIGO	TE-04		
2	ELABORA	APROBA						OBJETIVO	PERFIL TOMOGRAFIA ELÉCTRICA TE-04	ELABORADO POR	REVISADO POR		FECHA	Enero 2022	LUGAR	GUÁRICA
REV	FECHA	REVISADO	ELAB	REVISADO	APROBADO			ZONA	PONTO - HUARI - ANCASH	TÍTULO PROY.	FECHA PROY.	FECHA REVISADO				



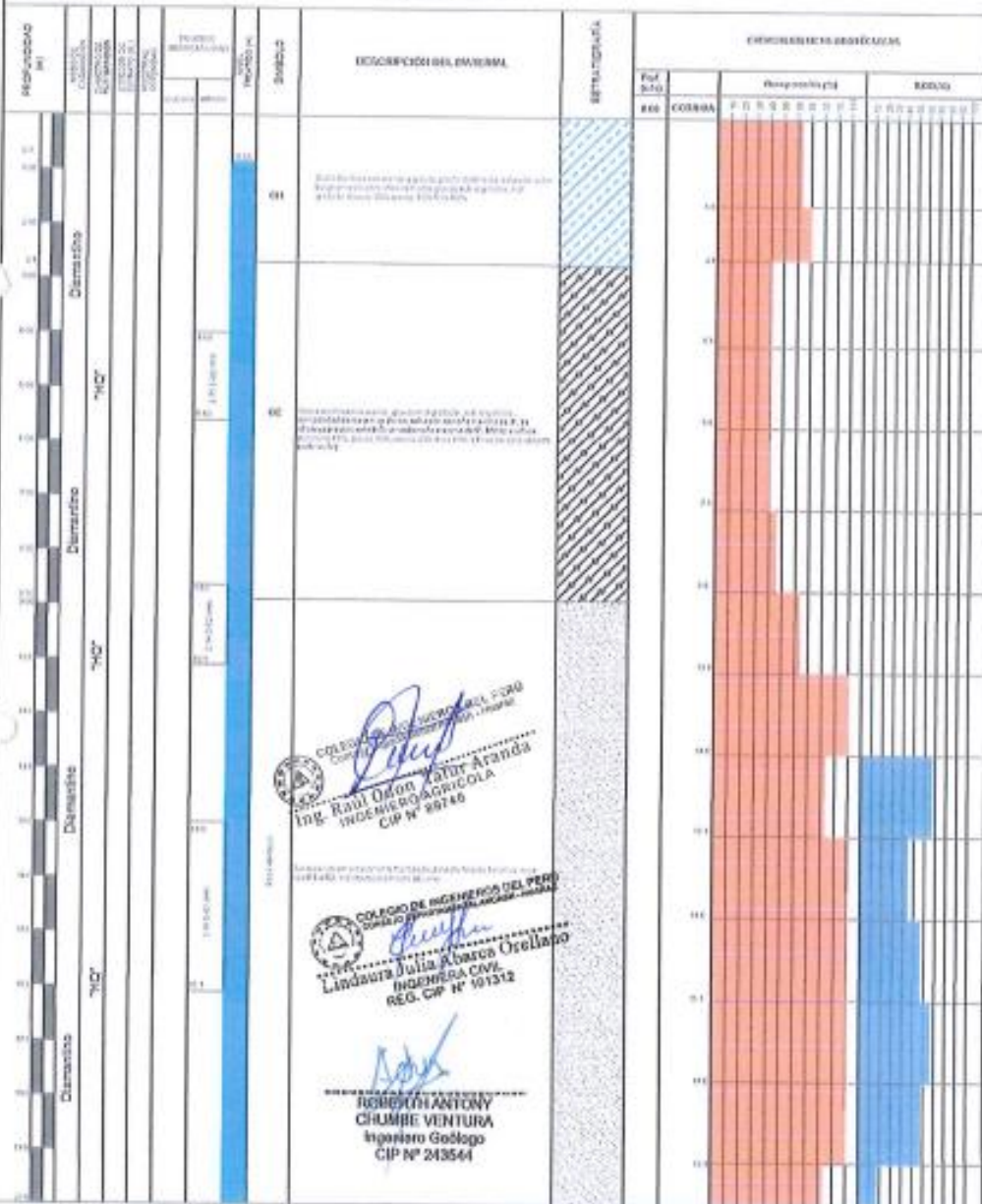
SONDAJE P-02 - 01/02

001989

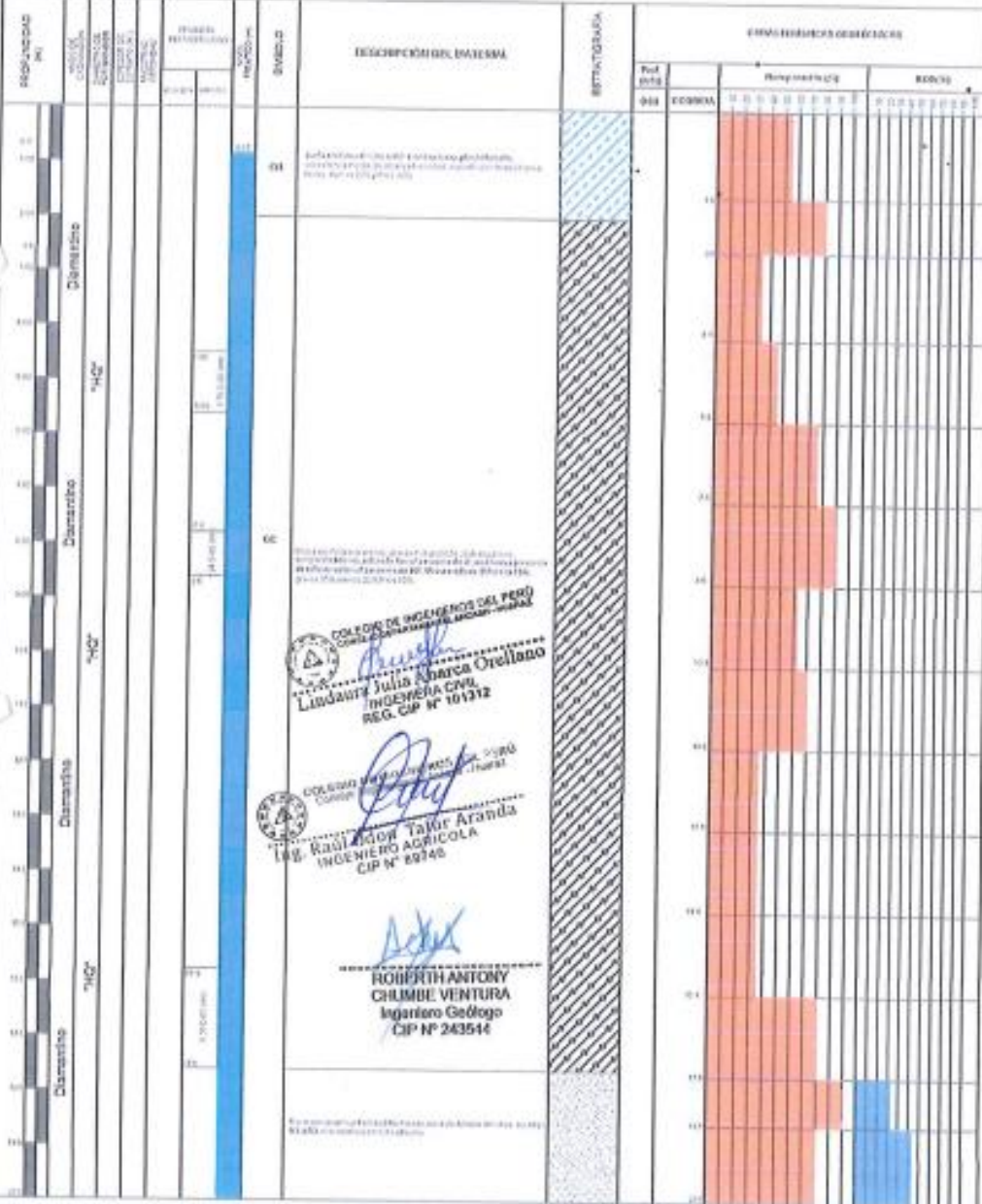
PROYECTO: ...

...

PROYECTO	...	COORDINADOR GEN	...	ENCARGADO	...
CLIENTE	...	COA DE RICA	...	FECHA EJECUCION	...
ACTIVIDAD	...	INDICACION FORO	...	EQUIPO TECNICO	...
INDICACION	...	INEL FREIADO	...	REGISTRADO FORO	...
DIAMETRO FORO	...	PROF. EJECUCION	...		



PROYECTO	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	COORDINADOR UNID.	INGENIERO CIVIL	ENCARGADO	INGENIERO CIVIL
CLIENTE	COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	COMA DE EOGA	INGENIERO CIVIL	SECTOR ECONÓMICO	INDUSTRIAL
ACTIVIDAD	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	DIRECCIÓN PORF.	INGENIERO CIVIL	COORDINADORA	INGENIERO CIVIL
UBICACIÓN	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	UNID. FÍSICO	INGENIERO CIVIL	REVISADO POR	INGENIERO CIVIL
COMITÉ PORF.	INGENIERO CIVIL	PROF. ENCARGADO	INGENIERO CIVIL		



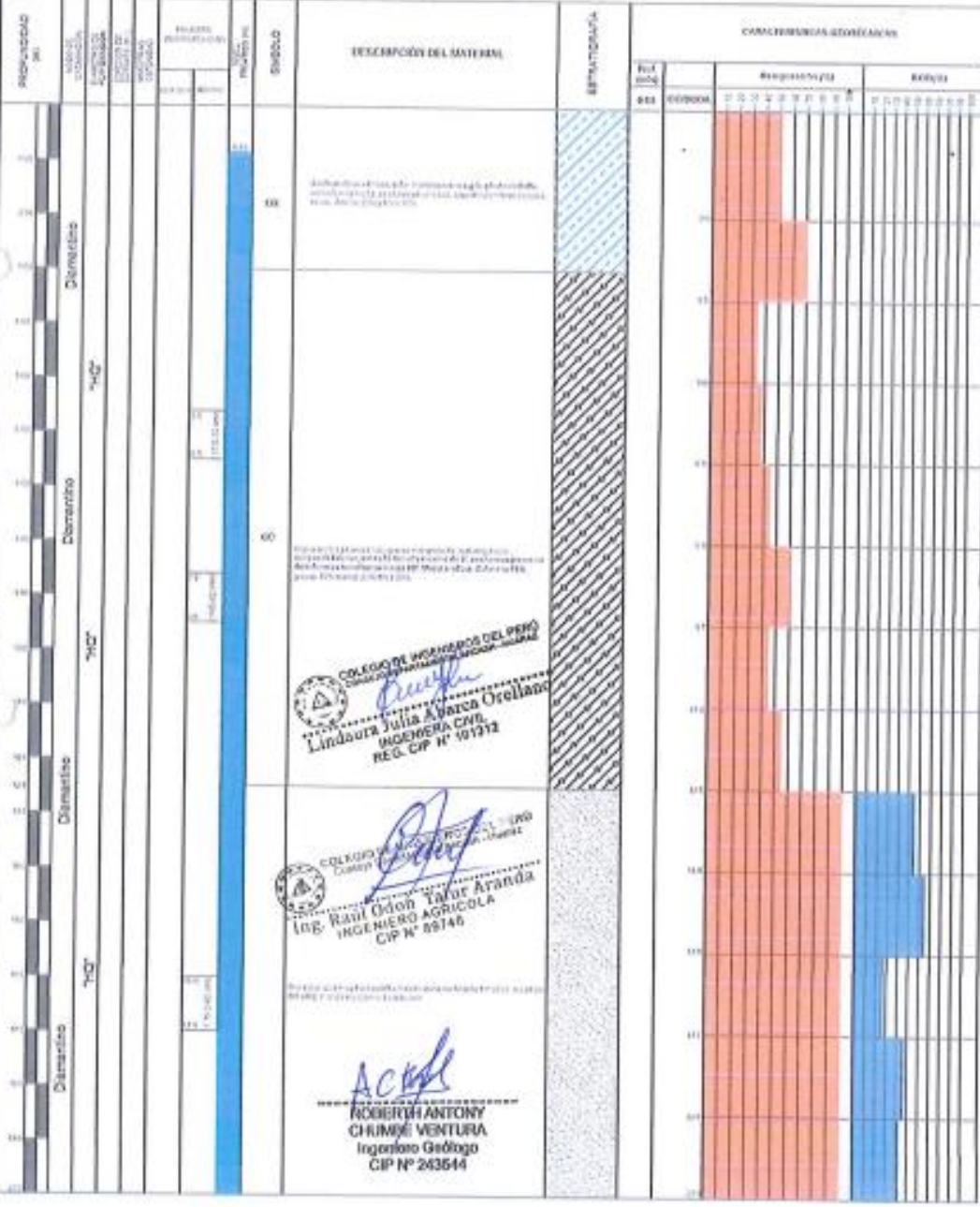



SONDAJE P-04 - 01/02

001385

4773441.00

PROYECTO	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	CORRENTIMIENTOS	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	ETICANADO	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA
CUENCA	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	COTABAMBA	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	FECHA RECOPILADA	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA
ACTIVIDAD	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	GRUPO DE OBRAS	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	EDIFICIO	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA
UBICACIÓN	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	NIVEL MARITIMO	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	REGISTRADO POR	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA
ORDENADO POR	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA	TIPO DE OBRAS	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DE LA		





INACAL
Instituto Nacional de Metrología
Laboratorio de Electricidad

Certificado de Calibración


LE - 030 - 2020

Página 1 de 4

Expediente	1034639	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las pruebas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Solicitante	L.I.L.C. CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN E.L.R.L.	La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones tecnológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLLUMP).
Dirección	Calle 2 Wz. B, Lote 03, Urb. Residencial Alborada de Santa Rosa III Etapa - San Martín de Porres	La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIAM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región.
Instrumento de Medición	PINZA MULTIMÉTRICA	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario está obligado a recibir sus instrumentos e intervalos apropiados.
Marca	GREENLEE	
Modelo	CM-1500	
Número de Serie	0711630159	
Fecha de Calibración	2020-01-17	


Este certificado de calibración solo es válido por el dilatado tiempo y sin modificaciones. Los retrabajos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.
Certificado sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área



Lindaura J. Orellana
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101312


Responsable del laboratorio




Raúl Ojeda Tafur
INGENIERO AGRÍCOLA
CIP N° 88748

000766


Responsable del área



Dirección de Metrología



Dirección de Metrología



Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle 2 Wz. B, Lote 03, Urb. Residencial Alborada de Santa Rosa III Etapa - San Martín de Porres
Tel: (01) 446-8822 Anexo 1000
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Escaneado con CamScanner



INACAL
 Instituto Nacional de
 Metrología

Laboratorio de Electricidad

Certificado de Calibración

LE - 030 - 2020

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración efectuada por comparación con nuestro calibrador patrón, en las funciones de tensión, corriente y resistencia

Lugar de Calibración

Laboratorio de Electricidad
 Calle de La Prosa N° 150 - San Borja, Lima
 Condiciones Ambientales

Temperatura	23,6 °C ± 0,2 °C
Humedad Relativa	59,2 % ± 1,5 %

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrón de Referencia de la Dirección de Metrología Certificados del CENAM N° CNM-CC-410-0852/2018, CNM-CC-410-0842/2018, CNM-CC-410-0862/2018, CNM-CC-410-0822/2018, CNM-CC-410-0832/2018, CNM-CC-410-087/2018, CNM-CC-410-089/2018	Patrón de Referencia de Metrología Certificación N° 5520A	INACAL DM LE-888-2019

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta identificativa de la Dirección de Metrología - INACAL. Los errores presentados corresponden al usuario. Se anota como inidoneidad para cada punto de medida considerado. A solicitud del usuario solo se calibró en corriente alterna.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL AGRICOLA - HUAYLA
 Lindaura Julia Abarca Orellano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312

COLEGIO PERUANO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL AGRICOLA - HUAYLA
 Ing. Raúl Odon Tafur Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89746

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
 Calle Las Cañadas N° 317, San Isidro, Lima - Perú
 T: (51) 1 411 2000
 F: (51) 1 411 2001
 WEB: www.inacal.gob.pe

000765

Escaneado con CamScanner



INACAL
INSTITUTO NACIONAL
de Metrología

Metrología
Laboratorio de Electricidad

Certificado de Calibración LE - 030 - 2020

Página 4 de 4

La Incertidumbre asociada en el presente certificado es la Incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la Incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. Los Incertidumbres fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición" de la OIML, "Guía de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corregida and reprintad in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM-100:2008, GUM: 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". La Incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de Incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración
Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al momento de comparecer a su momento de ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL) fue creado mediante Ley N° 25560 el 6 enero de 1993 y fue encomendado al INDECOP (actualmente Dirección General de Calidad y Gestión) (ITINCI). El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad (Plan de desarrollo) y la compatibilidad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo técnico técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la materia del Sistema Nacional de la Calidad y al organismo de la operación de sistemas de gestión de calidad, metrología, y en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL, cuenta con diversos Laboratorios Metrologicos debidamente acreditados, los cuales ofrecen servicios de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se contribuye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrologicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México, el National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados Unidos, el Centro Español de Metrología (CEM) de España, el Servicio Nacional de Metrología (SNM) de Argentina, el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil, entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA-SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciada por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la suborganización (Subin) (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.

Instituto Nacional de Calibración - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Los Compañeros N° 177, San Víctor, Lima - Perú
Teléfono: (01) 476 0000 ext. 2000
Fax: (01) 476 0000 ext. 2002
Email: info@inacal.gob.pe
WEB: www.inacal.gob.pe

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIEROS AGRICOLAS
INGENIERO CIVIL
Lindauro Julia Abarca Orellano
REG. CIP N° 101312

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIEROS AGRICOLAS
INGENIERO AGRICOLA
Ing. Raul Odon Tafur Avareda
CIP N° 89746

000764

Escaneado con CamScanner



INACAL
INSTITUTO
NACIONAL DE METROLOGÍA

Hidrología
Laboratorio de Electricidad
Resultados de Medición

Certificado de Calibración LE - 030 - 2020

Página 3 de 4

PUNCIÓN CORRIENTE ALTERNIA

RANGO	INSTUMENTO	LECTURA	FRECUENCIA	CORRIENTE APLICADA	RESULTADOS	
					ERROR	INCERTIDUMBRE
400,0 A	60 Hz	40,0 A	60 Hz	40,302 A	-0,2 A	0,3 A
		100,0 A	60 Hz	119,462 A	0,5 A	0,7 A
		200,0 A	60 Hz	198,385 A	1,8 A	1,5 A
		300,0 A	60 Hz	277,105 A	2,9 A	1,8 A
		400,0 A	60 Hz	355,695 A	4,3 A	2,1 A
1000 A	60 Hz	400 A	60 Hz	394,935 A	5 A	2 A
		600 A	60 Hz	592,130 A	10 A	4 A
		800 A	60 Hz	892,130 A	10 A	4 A



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Colegio Profesional de Ingenieros - Hidráulicos
Lindauro J. Alarcón Orellano
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 101312

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Colegio Profesional de Ingenieros - Hidráulicos
Ing. Raúl Adon Barrios Aranda
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 889146

000763

Escaneado con CamScanner

Instituto Nacional de Calibración - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Los Cometas N° 177, Don Bosco, Lima - Perú
Teléfono: (01) 476 0000
Fax: (01) 476 0001
Email: info@inacal.gob.pe
WEB: www.inacal.gob.pe

Certificate of Calibration

VIMAS Acromed Calibration Laboratory s.a. 8078

2511
Certificate Number
0412552
Page 2 of 10 Pages

Supplementary Information

Calibration Equipment Used:

Seaward C2811 Cal Due: Nov 2016
Therley C100B Cal Due: Jan 2017
Fluke N9055 Cal Due: Aug 2017
HP C2415 Cal Due: Nov 2016
Fluke C1383 Cal Due: Aug 2017
VTK C2752 Cal Due: Sep 2017
Symmetron C1388 NCR

Cert#bcaV14NFI



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DE INGENIEROS PROFESIONALES - IIAE
[Signature]
Lindauro Julia Abares Orellano
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 101312

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DE INGENIEROS PROFESIONALES - IIAE
[Signature]
ING. Raul Sison Tatut Aranda
INGENIERO AGRICOLA
CIP N° 88745

000761

Certificate of Calibration

UKAS Accredited Calibration Laboratory no. 0678

5023E
Certificate Number
0-12332
Page 3 of 10 Pages

Parameter Tested	Set Value	Measured Value	Uncertainty of Measured Value
D.C. VOLTAGE			
50V Range			
0.0000mV	0.0000mV	-6.0201mV	$\pm 0.200mV$
20.0000mV	20.0000mV	19.9994mV	$\pm 0.200mV$
-20.0000mV	-20.0000mV	-19.9997mV	$\pm 0.200mV$
100.0000mV	100.0000mV	99.9999mV	$\pm 0.200mV$
-100.0000mV	-100.0000mV	-100.0002mV	$\pm 0.200mV$
2V Range			
0.0000V	0.0000V	-0.0001V	$\pm 0.0001V$
1.0000V	1.0000V	0.9999V	$\pm 0.0001V$
-1.0000V	-1.0000V	-0.9999V	$\pm 0.0001V$
2.0000V	2.0000V	1.9999V	$\pm 0.0001V$
-2.0000V	-2.0000V	-1.9999V	$\pm 0.0001V$
20V Range			
0.0000V	0.0000V	-0.0001V	$\pm 0.0001V$
1.0000V	1.0000V	0.9999V	$\pm 0.0001V$
-1.0000V	-1.0000V	-0.9999V	$\pm 0.0001V$
20.0000V	20.0000V	19.9999V	$\pm 0.0001V$
-20.0000V	-20.0000V	-19.9999V	$\pm 0.0001V$
200V Range			
0.0000V	0.0000V	-0.0001V	$\pm 0.0001V$
100.0000V	100.0000V	99.9999V	$\pm 0.0001V$
-100.0000V	-100.0000V	-99.9999V	$\pm 0.0001V$
200.0000V	200.0000V	199.9999V	$\pm 0.0001V$
-200.0000V	-200.0000V	-199.9999V	$\pm 0.0001V$
1000V Range			
0.0000V	0.0000V	-0.0001V	$\pm 0.0001V$
500.0000V	500.0000V	499.9999V	$\pm 0.0001V$
-500.0000V	-500.0000V	-499.9999V	$\pm 0.0001V$
1000.0000V	1000.0000V	999.9999V	$\pm 0.0001V$
-1000.0000V	-1000.0000V	-999.9999V	$\pm 0.0001V$



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN
 Ing. Raul Oron Tatar Aranda
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 101312

COLEGIO ARGENTINOS DEL SUR
 Centro Argentino de Ingeniería y Normalización
 Ing. Raul Oron Tatar Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89146

000760

This report is provided for informational purposes only and is not intended to be used as a substitute for a calibration certificate. For more information, please contact the laboratory at 0025 0281100000.

Escaneado con CamScanner

Certificate of Calibration

ULAS Aerospace Calibration Laboratory sa. 0073

5025B

Certificate Number
0412352

Page 5 of 10 Pages

Parameter Tested	Set Value	Measured Value	Uncertainty at 95% Expanded Value
AC Voltage			
200mV Range	1.0000mV	0.9999mV	±0.0001ppm±1.0mV
1mV 50Hz	1.0000mV	0.9999mV	±0.0001ppm±1.0mV
1mV 200Hz	1.0000mV	0.9999mV	±0.0001ppm±1.0mV
1mV 500Hz	1.0000mV	0.9999mV	±0.0001ppm±1.0mV
150mV 50Hz	150.0000mV	149.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
150mV 200Hz	150.0000mV	149.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
150mV 500Hz	150.0000mV	149.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
2V Range	200.0000mV	200.0000mV	±0.0001ppm±1.2mV
200mV 50Hz	200.0000mV	199.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
200mV 200Hz	200.0000mV	199.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
200mV 500Hz	200.0000mV	199.9999mV	±0.0001ppm±1.2mV
1.50V 50Hz	1.500000V	1.499999V	30ppm
1.50V 200Hz	1.500000V	1.499999V	30ppm
1.50V 500Hz	1.500000V	1.499999V	30ppm
2V 50Hz	2.000000V	1.999999V	30ppm
2V 200Hz	2.000000V	1.999999V	30ppm
2V 500Hz	2.000000V	1.999999V	30ppm
15.0V 50Hz	15.000000V	14.999999V	40ppm
15.0V 200Hz	15.000000V	14.999999V	40ppm
15.0V 500Hz	15.000000V	14.999999V	40ppm
18.0V 50Hz	18.000000V	17.999999V	40ppm
18.0V 200Hz	18.000000V	17.999999V	40ppm
18.0V 500Hz	18.000000V	17.999999V	40ppm
20V Range	20.000000V	20.000000V	50ppm
20V 50Hz	20.000000V	20.000000V	50ppm
20V 200Hz	20.000000V	20.000000V	50ppm
20V 500Hz	20.000000V	20.000000V	50ppm
100V Range	100.000000V	100.000000V	50ppm
100V 50Hz	100.000000V	100.000000V	50ppm
100V 200Hz	100.000000V	100.000000V	50ppm
100V 500Hz	100.000000V	100.000000V	50ppm
AC Voltage Frequency (Hz)			
50Hz	50.000000Hz	49.999999Hz	1ppm
200Hz	200.000000Hz	200.000000Hz	1ppm
500Hz	500.000000Hz	500.000000Hz	1ppm



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO REGULADOR NACIONAL
Lindauro Julia Oscar Orellano
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 101312

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO REGULADOR NACIONAL
ING. RAUL OVIDIO ATENCIO
INGENIERO AGRICOLA
CIP N° 88745

000758

This report is valid only if used on a certified secondary standard by a service user in a laboratory setting. The accuracy of this report is based on the accuracy of the secondary standard used for the measurement.

Escaneado con CamScanner

Certificate of Calibration

USAS Accredited Calibration Laboratory no. 0218
 72SE
 Certificate Number
 041.2532
 Page 6 of 10 Pages

Parameter Tested	Set Value	Measured Value
DC Current		
200µA Range		
Zero	0.00000µA	0.00237µA
20µA	20.00000µA	19.59959µA
100µA	100.00000µA	100.00744µA
1000µA	1000.00000µA	1001.2985µA
2mA Range		
0.2mA	0.2000000mA	0.1999400mA
0.2mA	0.2000000mA	-0.2000400mA
1.00mA	1.0000000mA	1.0000200mA
1.00mA	1.0000000mA	-1.0000000mA
2mA Range		
2mA	2.0000000mA	1.9996200mA
2mA	2.0000000mA	-2.0000700mA
10mA	10.0000000mA	10.0007200mA
10mA	10.0000000mA	-10.0000000mA
20mA Range		
20mA	20.0000000mA	19.9978000mA
20mA	20.0000000mA	-20.0000000mA
100mA	100.0000000mA	100.0000000mA
100mA	100.0000000mA	-100.0000000mA
2A Range		
2A	2.0000000A	1.9999700A
2A	2.0000000A	-2.0000000A
10A	10.0000000A	10.0000000A
10A	10.0000000A	-10.0000000A
20A Range		
2A	2.0000000A	1.9999700A
2A	2.0000000A	-2.0000000A
10A	10.0000000A	10.0000000A
10A	10.0000000A	-10.0000000A
20A	20.0000000A	20.0000000A
20A	20.0000000A	-20.0000000A

COPIADA
 Instituto de Calibración

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO REGIONAL AGRICOLA - HUASTE
 ING. Raúl Orion Tatur Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89746

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO REGIONAL AGRICOLA - HUASTE
 Ing. Andaura Julia Abisca Orellana
 INGENIERA CIVIL
 REC. CIP N° 101312

The provided numerical readability is based on a graphical representation established by a computer. Accuracy is not guaranteed by the manufacturer. The user must verify the accuracy of the measurements with appropriate instruments.

Escaneado con CamScanner

000757

Certificate of Calibration

UCAS Accredited Calibration Laboratory no. 0673

9023E
Certificate Number
0412532
Page 7 of 10 Pages

Parameter Tested	Set Value	Measured Value	Uncertainty of Measured Value
AC Current			
20mA Range	20.000mA	19.707mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20mA 50Hz	20.000mA	19.823mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20mA 200Hz	199.000mA	199.065mA	$\pm 0.039\% \pm 22\mu A$
199mA 50Hz	199.000mA	199.073mA	$\pm 0.039\% \pm 22\mu A$
20mA Range	200.000mA	198.036mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
200mA 50Hz	200.000mA	198.270mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
200mA 200Hz	1.99000mA	1.98999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
1.99mA 50Hz	1.99000mA	1.98988mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20mA Range	2.00000mA	1.99999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
2mA 50Hz	2.00000mA	1.99999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
2mA 200Hz	19.85000mA	19.84999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
19.85mA 50Hz	19.85000mA	19.84999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
200mA Range	20.00000mA	19.89999mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20mA 50Hz	20.00000mA	19.89749mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20mA 200Hz	198.00000mA	198.00000mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
198mA 50Hz	198.00000mA	198.00000mA	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
2A Range	6.350000A	6.349922A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
200mA 50Hz	6.350000A	6.349922A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
200mA 200Hz	1.987000A	1.986999A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
1.987mA 50Hz	1.987000A	1.986999A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
20A Range	1.987000A	1.987168A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
2A 50Hz	2.00077A	2.00077A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
2A 200Hz	2.00034A	2.00034A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
19.85mA 50Hz	19.85000A	19.85000A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
22A 200Hz	22.0000A	22.0000A	$\pm 0.039\% \pm 23\mu A$
0.05%			

* NOT UNITS accredited



The accuracy of this calibration is guaranteed by a certificate issued by a recognized body. For more information, please contact the issuing body.



Escaneado con CamScanner



LABORATORIO DE CALIBRACION Acreditado por el
Comisariado Peruano de Acreditación INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 00



Reporte P-16 000

Certificado de Calibración N° 0725-LE-20

PROMECAL S.A.C.
Av. Guillermo Durruty 1084 (Car Puno) Lima, Perú

Quién le Servicio: 000 0000232
 Solicitante: IMA S.C. SUBSECTOR DE INGENIERIA ENERGETICA, NORMALIZACION DE INGENIERIA EN INGENIERIA
 Dirección: CAL. HAZA, N° 001, PISO AJEDREZADO DE SANJA ROSA II ETAPA - LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES
 Instrumento: MULTIMETRO DIGITAL
 Marca: FLUKE
 Modelo: 87V
 Número de Serie: 8811059
 Fecha de Emisión: 2020-10-20
 Fecha de Validación: 2025-10-20

Procedimiento Utilizado:
 IMA S.C. SUBSECTOR DE INGENIERIA ENERGETICA, NORMALIZACION DE INGENIERIA EN INGENIERIA
 P-002 Seguimiento (Inicio-Hora) 2020 "Procedimiento para calibración de multímetros digitales IMA S.C."

Temperatura Ambiente	23.31 °C	±	0.18 °C
Humedad Relativa	45.71 %	±	1.12 %

Transmisión:
 Los resultados de la calibración evaluada tienen trazabilidad a patrones internacionales, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).



Observaciones:
 Los resultados incluidos en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no abarcan otros parámetros de conformidad de producto.
 El presente informe es válido por un periodo de 5 años, salvo que el cliente solicite una recalibración o mantenimiento preventivo o correctivo.
 El cliente es responsable de la conservación de sus instrumentos a través de programas de control de calidad, como mantenimiento preventivo y correctivo y de la conservación de los documentos según aplica.
 Con fines de atribución de la responsabilidad se califica una encuesta a satisfacción.
 Con fines de información adicional sobre el estado de la validación y sus modificaciones, se recomienda al cliente que consulte el sitio web de PROMECAL S.A.C.
 El presente informe y sus datos son válidos.

Responsable:
 El resultado reportado en este documento es válido por un periodo de 5 años, salvo que el cliente solicite una recalibración o mantenimiento preventivo o correctivo.
 El presente informe es válido por un periodo de 5 años, salvo que el cliente solicite una recalibración o mantenimiento preventivo o correctivo.
 El cliente es responsable de la conservación de sus instrumentos a través de programas de control de calidad, como mantenimiento preventivo y correctivo y de la conservación de los documentos según aplica.
 Con fines de atribución de la responsabilidad se califica una encuesta a satisfacción.
 Con fines de información adicional sobre el estado de la validación y sus modificaciones, se recomienda al cliente que consulte el sitio web de PROMECAL S.A.C.

Av. Guillermo Durruty Nro. 1084 (Car Puno) Lima - Lima - Lima
 Correo: 714 4250 - Callao: 845 289 488
 E-mail: calibraciones@promecal.com.pe

Página 1 de 3

Escaneado con CamScanner

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERIA
 Linaudra María Abarca Orellano
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERIA
 Ine Raul Oton Tabares Aranda
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 89146

000753



INACAL
INSTITUTO NACIONAL DE CALIBRACIÓN

Huancabamba
Laboratorio de Higrometría

Certificado de Calibración LH - 077 - 2020

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración por comparación empleando cámaras de humedad y temperatura ambientales con condiciones controladas

Lugar de Calibración

Laboratorio de Higrometría
Calle De La Prusa N° 192, San Isidro - Lima

Condiciones Ambientales:

Temperatura	21 °C ± 2 °C
Humedad Relativa	65 %RH ± 5 %RH

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrología	Termómetro Digital con Resolución de 0,015 °C y 0,024 °C	LT-264-2019 Octubre 2019
	Sistema Digital con Resolución de 0,027 %RH a 1,00 %RH	H49-15480012 Noviembre 2019

Observaciones

Con base de identificación se ha cotado. Una etiqueta adhesiva de la Dirección de Metrología - INACAL. Las temperaturas convencionales y los botones mostrados en los resultados de medición son los de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).
(*) Dato tomado de su manual.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Categoría Profesional Registrado
Ing. Raúl Ojeda
INGENIERO AGRÍCOLA
CIP N° 89746

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DE INGENIEROS AGRÍCOLA - HUANCABAMBA
Lindauro Julia Abarca Orellano
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101312

Instituto Nacional de Calibración - INACAL
Dirección de Metrología - San Isidro, Lima - Perú
Tel: (01) 646-8200 Anexo 1201
www.inacal.gob.pe
WEC: www.inacal.gob.pe

000750

Escaneado con CamScanner



INACAL
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA

Metrológia

Laboratorio de Pígrimatiza

Certificado de Calibración

LH - 077 - 2020

Página 1 de 4

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan en unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrológia en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLLUMP).

La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que ésta realiza en la región.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Este certificado de calibración solo puede ser dilucidado completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificamos sin firma digital y sello ceroson de validez.

Expediente: 1003705
Solicitante: L.M.L.C. CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN E.I.R.L.
Dirección: Calle 2 litz. B, Lote 03, Urb. Residencial Albornoz De Santa Rosa III Etapa
Instrumento de Medición: TERMOHIGROMETRO
Indicación: DIGITAL
Intervalo de Indicación: 0 °C a 60 °C ; 10 %hr a 90 %hr (°)
Resolución: 0,1 °C ; 0,1 %hr
Marca: LUTRON
Modelo: MHS-38250
Procedencia: TAIWAN
Número de Serie: A.J.06307
Fecha de Calibración: 2020-09-11 al 2020-09-14



Responsable del área: 
 Dirección de Metrología

Responsable del área: 
 Dirección de Metrología

Responsable del área: 
 Dirección de Metrología



Resolución de Calibración - INACAL
 Dirección de Metrología
 Calle Las Cañitas Nº 872, San Mateo, Lima - Perú
 Email: 20220202@inacal.gob.pe
 Web: www.inacal.gob.pe

Puede verificar el estado de calibración en la página: www.inacal.gob.pe

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 Colegio de Ingenieros Agrícolas - Huancayo
 Ing. Raul Ojeda Tatur Arancó
 INGENIERO AGRICOLA
 CIP N° 69748

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 Colegio de Ingenieros Civiles - Huancayo
 Lindsaura Julia Alvarca Orellana
 INGENIERA CIVIL
 REG. CIP N° 101312

000749

Escaneado con CamScanner



INACAL

Instituto Nacional de
Metrología

Laboratorio de Higrometría

Certificado de Calibración

LH - 077 - 2020

Página 3 de 4

Resultados de Medición

PARA EL TERMOMETRO

INDICACION DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONV. VERDADERA (°C)	CORRECCION (°C)	INCERTIDUMBRE DE MEDICION (°C)
19,3	19,3	0,0	0,14
19,9	19,9	-0,05	0,14
20,1	20,02	-0,08	0,13

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:

$$TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$$

PARA EL HIGRÓMETRO

INDICACION DEL HIGRÓMETRO (%RH)	HUMEDAD RELATIVA CONV. VERDADERA (%RH)	CORRECCION (%RH)	INCERTIDUMBRE DE MEDICION (%RH)
29,4	29,5	0,1	0,5
50,7	50,4	-0,3	0,5
80,3	80,1	-0,2	0,4

La humedad relativa convencionalmente verdadera (HCV) resulta de la relación:

$$HCV = \text{Indicación del Higrómetro} + \text{corrección}$$

Nota 1.- El tiempo mínimo de estabilización fue de 15 minutos de 30 minutos.
Nota 2.- La temperatura promedio dentro de la cámara climática, durante la calibración del higrómetro, fue 22,20 °C.

Autismo Marcial de Calidad - INACAL
de Metrología
Calificado con el N° 177 - San Marcos, Lima - Perú
Tel.: (011) 640-3200 Anexo 1501
www.inacal.gob.pe
info@inacal.gob.pe

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Colegio Profesional N° 10001
Ing. Ramón Tatur Aranda
INGENIERO AGRICOLA
CIP N° 89748

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Colegio Profesional N° 10001
Ing. Lindaura Julia Abarca Orellano
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101312

000748

Escaneado con CamScanner



INACAL
INSTITUTO NACIONAL DE CALIBRACIÓN

Microscopio
Laboratorio de Hígrotermia

Certificado de Calibración

LH - 077 - 2020

Página 4 de 4

Incertidumbre
La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la Guía para la Evaluación de la Incertidumbre en la Medición, segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por INACAL) con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM, JCGM:100.2000, GUM:1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración
Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al caducarse le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23590 el 6 de enero de 1993 y fue encomendado al INDECOP mediante Decreto Supremo DS-024-93-ITINCI. El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y de esta forma dejó en sus atribuciones y funciones al Instituto Nacional de Metrología, el control y la competencia de las actividades técnicas y la prestación del servicio.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo creado mediante el Decreto Supremo del Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica superior del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la Ley N° 30224 y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrologicos debidamente acreditados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas Internacionales vigentes: ISO/IEC 17024, ISO 17034, ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para el usuario, al Sistema y al conjunto binomial formado por el usuario y el proveedor, independientemente de la naturaleza de la actividad, la actividad o el sistema y el conjunto binomial formado por el usuario y el proveedor, independientemente de las actividades de Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL, en cooperación técnica de organismos metrologicos de otros países, participa en el Programa de Cooperación Técnica (PT) del Acuerdo de Alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Méjico; el Programa de Cooperación Técnica (PT) del Centro Nacional de Metrología (CENAM) de Méjico; el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de Argentina; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciada por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las intercompensaciones realizadas por el SIM.

Instituto Nacional de Calibración - INACAL
Calle Las Emperlas N° 817, San Isidro, Lima - Perú
Tel.: (01) 610-8200 Anexo 1301
Fax: (01) 610-8200 Anexo 1302
MCS: www.inacal.gob.pe

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
Colegio de Ingenieros Agrícolas
Ing. Hugo Orellana
Ing. Ingenuo Aguirre
CIP N° 89148

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
Colegio de Ingenieros Civiles
Linaudaur Julia Abarca Orellana
INGENIERA CIVIL
REG. CIP N° 101912

000747

Escaneado con CamScanner



Instituto de Metrología Industrial & Científica

ISO IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE-391-2020

Pág. 1 de 7

MEDICIÓN DE TENSION (V)

ENTRADA (VDC)	VALOR NOMINAL (VDC)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (VDC)	ERROR (VDC)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (VDC)
200	200,0	199	11	1,8
400	400,0	398	12	1,2
600	600,0	599	11	1,6
800	800,0	799	11	1,7
1000	1000,0	999	10	2,2

ENTRADA (V)		VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (V)		INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (V)	
VALOR NOMINAL (V)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (V)	ERROR (V)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (V)	VALOR NOMINAL (V)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (V)
1000,0	1000,0	-0,3	0,1		

ENTRADA (VA)		VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (VA)		INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (VA)	
VALOR NOMINAL (VA)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (VA)	ERROR (VA)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (VA)	VALOR NOMINAL (VA)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (VA)
5	4,5	0,5	0,17		

EN EL MOMENTO



Instituto de Metrología Industrial & Científica

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE IMC CALIBRACION & CERTIFICACION

Sede Administrativa: Cst. 2 Hc. B. Loma 03 Urb. Rosal, Alameda de Santa Rosa II Esq. Lima - San Martín de Porres
Laboratorio: Camilesa Central Km. 23 Ac. Unión Hc. Ch. U. 20 - Chucabayo
RFC: 93 800 397 / Tel: 715 2828 Correo: ventas@imscif.com - reparaciones@imscif.com - calibraciones@imscif.com

Escaneado con CamScanner

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
C.O.I.P. - C.O.I.P. Nº 101312
Ing. Raúl Olegón Tajir AFFHR
INGENIERO AGRICOLA
C.I.P. Nº 88745

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
C.O.I.P. - C.O.I.P. Nº 101312
Ing. Luis Abarca Orellana
INGENIERO CIVIL
REC. CIP. Nº 101312



ISO IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE-391-2020

Pág. 2 de 3

3. METODO.

La calibración se efectuó por comparación directa. Se utilizó como referencia el Procedimiento para la Calibración de Instrumentos de Medición de Frecuencia para el Sistema Internacional de Unidades (SI) de la Norma IEC 61010-1 "Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - Part 1: General requirements". Procedimiento EL-005 para la calibración de medidores de energía eléctrica - CEM ESPAÑA. Procedimiento EL-021 (normalización) de tensión eléctrica - CEM ESPAÑA.

4. FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN.

La calibración se realizó el día 04 de noviembre del 2020 en los laboratorios de Instituto de Metrología Industrial & Científica S.L.L.L.

5. CONDICIONES AMBIENTALES.

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:
Temperatura : Inicial : 20,8 °C Final : 20,3 °C
Humedad Relativa : Inicial : 65,2 %RH Final : 64,1 %RH

6. PATRÓN DE MEDICIÓN.

Table with 4 columns: INSTRUMENTO, MARCA, N° DE CERTIFICADO, TRAZABLE. Rows include TERMOGALVANÓMETRO LITTON, MULTÍMETRO DIGITAL FLUKE 87V, CALIBRADOR DE PROCESOS TIME ELECTRONICS, and PRISA AMPERIMETRICA GERBANE.

7. OBSERVACIONES.

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 03 del presente documento. Para el cálculo de la incertidumbre de medición se utilizó un factor de cobertura k=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color violeta con la indicación "CALIBRADO". La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Instituto de Metrología Industrial & Científica



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE LMI.C CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN

Sede Administrativa: Cal. 2 N° 8 Luján Uta. Rucay. Moravia de Santa Rosa II Etapa Lima - San Martín de Porres
Laboratorio: Camarero Central Km. 23 Av. Unión Mz. Q1 L L 20 - Casapalco

PPC: 93 898 307 / Tel: 765 2836 Correo: ventas@lmicel.com - operaciones@lmicel.com - calibraciones@lmicel.com

Escaneado con CamScanner



000745



Instituto de
Metrología
Industrial & Científica

ISO IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE-391-2020

RECIBIDO EN LA OFICINA DE CALIBRACIÓN
2020-11-05
14:11

1. SOLICITANTE : **OSOMAR INGENIEROS S.A.C.**
DIRECCIÓN : Av. Dolores del Moro - Us. Chorrillos Mas. C Lote 23 Dpto. 302 Machi El Chorrillo, Lima,
Lima.

2. Instrumento de Medición : **TRANSMISOR DE CORRIENTE IP**

Marca : **INNOVA ELECTRONICS**
Modelo : **HT1000W**
Número de Serie : **7304170301**
Procedencia : **Perú**
Ubicación : **No Indica**
Identificación : **No Indica**

Intervalo de Indicación :
Alcance de Tensión DC : **0 V a 1 000 V**
Alcance de Potencia : **0 W a 1000 W**

Este certificado solo podrá ser utilizado completamente y sin modificaciones. Los cambios o modificaciones requieren de la autorización de **MIC CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN**.
El certificado sin sello y sin firma carece de validez.



Instituto de Metrología
Industrial & Científica

[Firma]
ING. JUAN JOSÉ
Jefe de Laboratorio



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE **MIC CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN**

Sede Administrativa: Cal. 2 Mt. B Linceo Urb. Resid. Alameda de Santa Rosa III Etapa Lima - San Martín de Porres
Laboratorio: Camileira Central Km. 20 Av. Unión Mz. 01 Lt. 20 - Chusacayo
RFC: 80 868 307 / Tel: 785 2626 Correo: ventas@micif.com - capacitacion@micif.com - calibraciones@micif.com

COLEGIO INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO PROFESIONAL INGENIEROS AGRI-COL
ING. Raul Ochoa Aguirre
INGENIERO EN AGRICULTURA
REG. N° 89746

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO PROFESIONAL INGENIEROS AGRI-COL
Lindaury J. Abadca Orellana
INGENIERO EN CIVIL
REG. CIP N° 107512

000744

Escaneado con CamScanner

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE-395-2021

458-3227
1 de 3
2021-12

1. SOLICITANTE : **CEBESTUDIOS DRILLING S.A.C.**
 2. DIRECCIÓN : **MZ. V2 LOTE 20 SANTA MARIA - SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA**

3. Instrumento de Medición : **SISMÓGRAFO**
 Marca : **SURSUELO**
 Modelo : **S81SUEX16**
 Indicación : **DIGITAL**
 Número de Serie : **000271896**
 Procedencia : **COLOMBIA**
 Ubicación : **NO INDICA**
 Identificación : **NO INDICA**
 Tipo de Sensor : **16 Canales**
 Intervalo de muestreo : **0.25ms, 0.5ms, 1ms**

Este certificado de calibración es válido para los parámetros mencionados en el presente documento, de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (SI), IMC CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN. CERTIFICACIÓN no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de la calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

Es recomendable recalibrar el instrumento o equipo a intervalos establecidos, los cuales deben ser acordados con base en las características del instrumento, el mantenimiento y conservación.

Este certificado solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones incurren de la autorización de IMC CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN. El certificado sin sello y sin firma carece de validez.



RAUL DARIAN
 INGENIERO EN METROLOGÍA
 INGENIERO EN CALIBRACIÓN



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE IMC CALIBRACIÓN & CERTIFICACIÓN

Sede Administrativa: Ccl. 2 N° El Lote 20 Uta. Resid. Alameda de Santa Rosa III Etapa Lima - San Martín de Porres
 Laboratorio: Carretera Central Km. 23 Av. Unión Mz. 01 L. 20 - Chacabayo
 RPC: 91 868 307 / Tel: 765 2628 Comos ventas@imcsoft.com - capacitaciones@imcsoft.com - calibraciones@imcsoft.com



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Centro de Estudios de Ingeniería - Madrid
 Raul Darian Tauri Aranda
 ING. INGENIERO AGRICOLA
 INGENIERO EN CALIBRACIÓN
 CIP N° 89748

000743



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 Centro de Estudios de Ingeniería - Madrid
 Raul Darian Tauri Aranda
 ING. INGENIERO AGRICOLA
 INGENIERO EN CALIBRACIÓN
 CIP N° 89748



Instituto de
Metrología
Industrial & Científica

ISO IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE-395-2021

Página 2 de 3

4. MÉTODO:

La calibración se realizó por comparación indirecta, tomando como referencia la Norma ASTM D 6777 " Standard Guide for Using the Scientific Refraction Method for Subsurface Investigation", D7128 - 05 (Reapproved 2010) Standard Guide for Using the Scientific-Refraction Method for Shallow Subsurface Investigation, ASTM D6428 Guide for Selecting Surface Geophysical Methods, la Norma IEC 61510-1 "Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - Part 1: General requirements".

5. FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN:

La calibración se realizó el día 01 de Julio del 2021 en los laboratorios del Instituto de Metrología Industrial & Científica S.L.L.

6. CONDICIONES AMBIENTALES:

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura : Inicial : 19,6 °C ; Final : 19,5 °C
 Humedad Relativa : Inicial : 59,3 % ; Final : 60,5 %

7. PATRÓN DE MEDICIÓN:

INSTRUMENTO	MARCA	N° DE CERTIFICADO	TRAZABLE
TERMÓGRÁFOMETRO	LUTRON	LH-077-2020	DM INACAL
MULTÍMETRO DIGITAL	FLUKE 87V	0725-LE-30	PROMEDAL
CALIBRADOR DE PROCESOS	TIME ELECTRONICS	041232	U.K.A.S -UK

8. RESULTADO DE MEDICIÓN:

RANGO DINÁMICO 98 a 1ms.			
VALOR INDICADO CONVENCIONALMENTE DEL INSTRUMENTO VERDADERO (dB)	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (dB)	CORRECCIÓN (dB)	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (dB)
110,01	110	0,01	0,03

AMPLIFICADOR			
VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (dB)	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (dB)	CORRECCIÓN (dB)	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (dB)
100,02	100	0,02	0,05

Ver: Consecuencia de Verdad = Indicación del Instrumento + Corrección



Instituto de Metrología
Industrial & Científica

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE IMLIC CALIBRACION & CERTIFICACION

Sede Administrativa: Car. 2 Mac B Lolo30 Urb. Resid. Aborada de Sierra Rosa III Espo. Lima - San Martín de Porres
 Laboratorio: Carretera Central Km. 24 Av. Unión N° 01 Lt. 20 - Chacarayo

RPC: 83 868 307 / Tel: 765 2026 Correo: ventas@imicari.com - capacitaciones@imicari.com - calibraciones@imicari.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: LE -395-2021

Figura 3 de 3

FRECUENCIA ANCHO DE BANDA 7.5dB			
VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERA (Hz)	INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (Hz)	CORRECCIÓN (Hz)	INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN (Hz)
0.01	0.01	0.00	0.01
0.05	0.05	0.00	0.05
1.00	1.01	-0.01	0.058
1.50	1.51	-0.01	0.056
50.00	49.98	0.04	0.011

Valor Convencionalmente Verdadero = Indicación del Instrumento + Corrección

FRECUENCIA			
VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERA (Hz)	INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (Hz)	CORRECCIÓN (Hz)	INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN (Hz)
10.00	9.97	0.03	0.200
15.00	14.98	0.04	0.214
20.00	20.05	-0.05	0.218
30.00	30.05	-0.05	0.017
50.00	49.95	0.05	0.017

INTERVALO DE MUESTREO			
VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERA (ms)	INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (ms)	CORRECCIÓN (ms)	INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN (ms)
0.250	0.25	0.005	0.005
0.50	0.5	0.03	0.30
1.1	1	0.1	0.3

Valor Convencionalmente Verdadero = Indicación del Instrumento + Corrección

9. OBSERVACIONES:

- La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.
- Con fines de identificación se coló una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
- * Los 19 gógrafos se encuentran operativo cumpliendo las normativas mencionadas.