

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA BÁSICA PARA EL DISEÑO DE  
LA CIMENTACIÓN EN PEQUEÑAS PRESAS ALTOANDINAS ”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**MARTIN PAUL BALVÍN BOZA**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA BÁSICA PARA EL DISEÑO DE LA  
CIMENTACIÓN EN PEQUEÑAS PRESAS ALTOANDINAS ”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. MARTIN PAUL BALVÍN BOZA**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. ALFONSO CERNA VÁSQUEZ  
Presidente

Ing. CARLOS ALBERTO BRAVO AGUILAR  
Miembro

Ing. JAIME EDUARDO VÁSQUEZ CÁCERES  
Miembro

Mg. Sc. LIZ MARGOT PALOMINO ZEGARRA  
Asesor

LIMA – PERU

2022

## **DEDICATORIA**

A mis padres Norma y Manuel, por su apoyo,  
motivación e inspiración para salir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a mis padres por su apoyo incondicional.

A mi asesora Ing. Liz Margot Palomino Zegarra por sus consejos y aporte académico.

A los profesores de la Universidad Nacional Agraria la Molina y su facultad de Ingeniería Agrícola, en especial a los ingenieros Gonzalo Fano y Alfonso Cerna por compartir sus experiencias académicas y motivación para seguir estudiando.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. PRESENTACIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>IV. DESARROLLO DEL TRABAJO</b> .....	<b>4</b>
4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	4
4.1.1. Ubicación política.....	4
4.1.2. Ubicación Geográfica .....	6
4.2. ESTUDIOS PREVIOS .....	7
4.2.1. Topografía.....	7
4.2.2. Geomorfología.....	13
4.2.3. Geología regional.....	14
4.2.4. Geología local del área de embalse .....	14
4.2.5. Geomorfología Estructural .....	17
4.2.6. Geodinámica Externa.....	17
4.2.7. Geodinámica Interna.....	17
4.3. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS, REFRACCIÓN SÍSMICA Y DEL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)...	18
4.3.1. Fundamentos teóricos .....	18
4.3.2. Ubicación de las líneas sísmicas para los ensayos de refracción y de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) .....	28
4.3.3. Ensayo de Refracción Sísmica.....	29
4.3.4. Ensayo MASW .....	35
4.3.5. Parámetros elásticos.....	41
4.3.6. Tabla de parámetros elásticos obtenidos a partir de los ensayos geofísicos MASW realizados.....	42
4.3.7. Sismicidad.....	43
4.4. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS DE PERFORACIONES DIAMANTINAS .....	45
4.4.1. Conocimientos previos .....	45

4.4.2. Ubicación de los puntos de perforación.....	52
4.4.3. Trabajos de Campo .....	53
4.5. DESARROLLO DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD .....	60
4.5.1. Conocimientos previos .....	60
4.5.2. Ejecución de los ensayos .....	63
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	64
5.2. RECOMENDACIONES .....	65
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>68</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas UTM .....	7
Tabla 2: Puntos geodésicos .....	8
Tabla 3: Ubicación de las coordenadas del sitio de trabajo.....	29
Tabla 4: Velocidad de onda de compresión $V_p$ .....	31
Tabla 5: Ubicación de las líneas sísmicas realizadas .....	31
Tabla 6: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 01 .....	32
Tabla 7: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 02 .....	33
Tabla 8: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 03 .....	34
Tabla 9: Norma E. 030. Diseño sismoresistente 2019.....	35
Tabla 10: Ubicación de los ensayos MASW.....	37
Tabla 11: Resumen del ensayo geofísico MASW 01.....	38
Tabla 12: Resumen del ensayo geofísico MASW 02.....	39
Tabla 13: Resumen del ensayo geofísico MASW 03.....	40
Tabla 14: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 01.....	42
Tabla 15: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 02.....	42
Tabla 16: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 03.....	43
Tabla 17: Determinación de puntos para sondaje.....	54
Tabla 18: Resumen de los sondeos.....	54
Tabla 19: Línea de perforación.....	54
Tabla 20: Recuperación de testigos P-1 .....	55
Tabla 21: Recuperación de testigos P-2 .....	56
Tabla 22: Recuperación de testigos P-3 .....	56
Tabla 23: Calidad de la roca en función al índice RQD.....	57
Tabla 24: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-1).....	58
Tabla 25: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-2).....	59
Tabla 26: Cuadro: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-3).....	59
Tabla 27: Valores de permeabilidad de distintos tipos de suelos. (Powers, 1992).....	62
Tabla 28: Valores de permeabilidad.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación nacional del proyecto.....	5
Figura 2: Ubicación provincial y distrital de Laria.....	5
Figura 3: Vista de la laguna Chacclaccocha, emplazada en un círculo glaciar conformada por roca ígnea.....	6
Figura 4: Trabajos topográficos de posicionamiento del GPS diferencial en la plaza principal de Laria. ....	8
Figura 5: Trabajos topográficos. Monumentado de puntos geodésicos. ....	9
Figura 6: Vista del posicionamiento de la Estación Total. ....	10
Figura 7: Vista de trabajos topográficos de fotogrametría con Drone Phantom IV RTK. ...	11
Figura 8: Fotografías tomadas por el dron, tanto de la laguna Chacclaccocha como de su entorno.....	12
Figura 9: Curvas de nivel generadas por fotogrametría .....	12
Figura 10: Cuadrángulo de Conayca (26-m), donde se ubica el área de estudio (Círculo azul).....	15
Figura 11: Fotografía tomada al lado oeste de la laguna Chacclaccocha. Nótese la morfología de valle glaciar, emplazada en roca ígnea. ....	16
Figura 12: Fotografía tomada al lado sur. Nótese el material fino que cubre la ladera del cerro de caliza de la Formación Condorsinga. ....	16
Figura 13: Deformación producida por onda de compresión. ....	19
Figura 14: Deformación producida por onda de corte.....	19
Figura 15: Deformación producida por Ondas de Love .....	20
Figura 16: Modelo de propagación de las ondas Love.....	21
Figura 17: Deformación producida por Ondas de Rayleigh.....	22
Figura 18: Modelo de propagación por Ondas de Rayleigh.....	22
Figura 19: Representación del ensayo de Refracción sísmica.....	24
Figura 20: Ensayo de refracción sísmica.....	25
Figura 21: Ensayo de refracción sísmica - generación de ondas.....	25
Figura 22: Ensayo de refracción sísmica - Detectores de movimiento del suelo. Geófonos .....	26
Figura 23: Ensayo de refracción sísmica - equipo de acopio y almacenamiento .....	26
Figura 24: Ensayo de refracción sísmica – Geoide y equipo de computo para la	



interpretación de datos. ....	27
Figura 25: Ensayo para el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) – prueba activa. ....	28
Figura 26: Líneas sísmicas del proyecto.....	29
Figura 27: Vista de la laguna Chacclaccocha y la zona donde se plantean construir los embalses. ....	30
Figura 28: Perfil geosísmico 01.....	32
Figura 29: Perfil geosísmico 02.....	33
Figura 30: Perfil geosísmico 03.....	34
Figura 31: Curva de dispersión del ensayo MASW 01.....	38
Figura 32: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 01.....	38
Figura 33: Curva de dispersión del ensayo MASW 02.....	39
Figura 34: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 02.....	39
Figura 35: Curva de dispersión del ensayo MASW 03.....	40
Figura 36: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 02.....	40
Figura 37: Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas.....	44
Figura 38: Mapa de Zonas Sísmicas.....	45
Figura 39: Perforadora diamantina Longyear L44 y grupo técnico. Anka Eng S.A.C. ....	47
Figura 40: Tuberías de perforación.....	48
Figura 41: Tuberías de revestimiento.....	48
Figura 42: Tubo portatestigo.....	49
Figura 43: Coronas de Longyear.....	50
Figura 44: Ensanchadores o Escariadores.....	50
Figura 45: Zapatas de Revestimiento.....	51
Figura 46: Bomba impulsora de agua provee a perforadora diamantina Longyear L44. Anka Eng S.A.C.....	51
Figura 47: Caja portatestigo de plástico. Anka Eng S.A.C.....	52
Figura 48: Ubicación de puntos de perforación.....	53
Figura 49: Sección trasnversal de los puntos de perforación.....	53
Figura 50: Procedimiento para el cálculo del RQD.....	57
Figura 51: Ensayo lefranc a carga constante.....	62
Figura 52: Punto inicial para la realización del ensayo de refracción sísmica 01.....	69
Figura 53: Tendido de geófonos para el ensayo de refracción sísmica 01.....	69
Figura 54: Registro del ensayo MASW 02.....	70

Figura 55: Línea sísmica 03 .....	70
Figura 56: Punto de perforación P1 .....	71
Figura 57: Punto de perforación P1. Proceso de acople de barras .....	71
Figura 58: Punto de perforación P1.....	72
Figura 59: Punto de perforación P1. Colocando las muestras en caja porta testigo.....	72
Figura 60: Punto de perforación P2.....	73
Figura 61: Punto de perforación P2.....	73
Figura 62: Punto de perforación P3.....	74
Figura 63: Punto de perforación P3.....	74
Figura 64: Punto de perforación P-1. Muestreo de primeros 23.20 metros del subsuelo...	75
Figura 65: Punto de perforación P-1. ....	76
Figura 66: Punto de perforación P-2. Muestreo de primeros 23.20 metros del subsuelo...	77
Figura 67: Punto de perforación P-2. ....	78
Figura 68: Punto de perforación P-3. Muestreo de primeros 14.35 metros del subsuelo...	79
Figura 69: Punto de perforación P-3. ....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ALBUM FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS GEOFÍSICOS.....	69
ANEXO 2: ALBUM FOTOGRÁFICO DE LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA .....	71
ANEXO 3: ALBUM FOTOGRÁFICO DE LAS MUESTRAS DIAMANTINAS .....	75
ANEXO 4: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD.....	81
ANEXO 5: REGISTRO DE PERFORACIONES.....	90

## **I. PRESENTACIÓN**

Los andes peruanos tienen una gran cantidad de lagunas y vasos naturales que permitirían el embalse de recursos hídricos, aumentando de esta manera la frontera agrícola y mejorando la economía local, teniendo en cuenta esto, se tiene que aprovechar las ventajas morfológicas existentes en cada zona y masificar la construcción de pequeños embalses, para lo cual se debe difundir los conocimientos básicos para la construcción de presas.

Para el presente trabajo monográfico de Suficiencia Profesional, el tema a sustentar será las funciones desempeñadas en el trabajo, vinculadas a la construcción de presas de tierra, básicamente en el proyecto: “Creación del servicio de agua para riego en los sectores de San José de Belén, Puquiococha, Los Ángeles y Laria del distrito de Laria, provincia de Huancavelica, departamento de Huancavelica”, que contempla el represamiento de la laguna Chacclacocha.

En este proyecto se aplica todos los conocimientos adquiridos en los cursos de: Diseño de presas de tierra, Topografía, Estructuras Hidráulicas, Geología y Geotecnia.

## **II. INTRODUCCIÓN**

La presente monografía busca difundir los principales estudios básicos que se debe realizar para poder diseñar la cimentación de pequeñas presas.

Una pequeña presa es aquella obra hidráulica que está expuesta permanentemente al contacto con el agua, por lo que debemos de tener en cuenta las diferentes variables que pueden ocasionar una falla en su estructura, como son la sismicidad, problemas de asentamientos diferenciales, discontinuidades o fallas del macizo rocoso, problemas de filtración entre otros.

Entonces, la problemática de cimentar en un proyecto de presa, involucra múltiples conocimientos que abarcan las disciplinas de mecánica de roca, mecánica de suelo, la geotecnia, geofísica, geología e involucran conocimiento complementario en recursos hídricos y topografía.

Ya teniendo el panorama claro de que la cimentación de una presa es un trabajo multidisciplinario que dará como resultado una solución integral del problema, debemos, de tener el conocimiento de las principales investigaciones geotécnicas básicas para el diseño de la cimentación en pequeñas presas. En base a esto se desarrolló el presente trabajo, abarcando tres temas: estudios geofísicos de refracción sísmica y el ensayo para el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), perforaciones diamantinas y ensayos de permeabilidad.

Como el presente trabajo se desarrollo a proximidad de la laguna Chacclacocha, de la localidad de Laria, departamento de Huancavelica, los datos y experiencias son propios de la región altoandina de nuestro país.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar las investigaciones geotécnicas básicas para el diseño de la cimentación de la presa altoandina Chacclacocha, en el Distrito de Laria, Provincia de Huancavelica, Departamento de Huancavelica.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Desarrollar los estudios geofísicos los cuales son: la refracción sísmica y el ensayo para el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)
- b. Desarrollar los estudios de perforaciones diamantinas.
- c. Desarrollar ensayos de permeabilidad.

## **IV. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO**

#### **4.1.1. Ubicación política.**

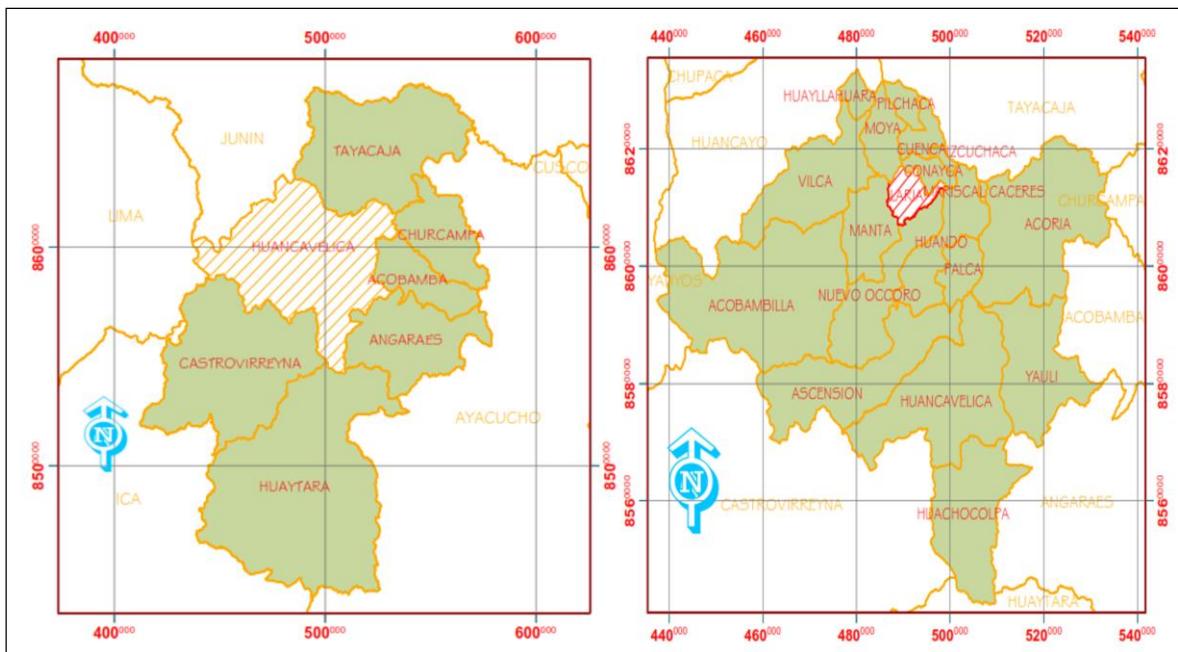
Departamento : Huancavelica  
Provincia : Huancavelica  
Distrito : Laria  
Localidades : San José de Belén, Puquioccocha, Los Angeles,  
Zunipampa, y Laria

El Proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Laria, cuyos beneficiarios es la población asentada en los sectores San José de Belén, Puquioccocha, Los Angeles, Zunipampa, y Laria. La fuente de agua utilizada para el proyecto proviene desde el represamiento de laguna Chacclaccocha, que pertenece al sector de San José de Belén en el grafico siguiente se muestra a detalle.



**Figura 1: Ubicación nacional del proyecto**

FUENTE: Municipalidad de Laria



**Figura 2: Ubicación provincial y distrital de Laria**

FUENTE: Municipalidad de Laria



#### 4.1.2. Ubicación Geográfica

- Coordenadas geográficas WGS84:  
Latitud: 12°34'1.87"S  
Altitud: 75° 6'47.87"O
- Coordenadas Proyectadas UTM – WGS84 Zona 18L:  
Eje de la presa  
Norte: 8610718.00 m S  
Sur: 487644.00 m E  
Cota: 4 450 m

#### 4.1.3. Accesibilidad

El proyecto es accesible por la Carretera Central que está asfaltada desde la ciudad de Huancayo hasta el pueblo de Izcuchaca, en general presenta buen estado de conservación. Desde Izcuchaca se accede al pueblo de Conayca luego a Laria y al Anexo San José de Belén, de este lugar se sube a la laguna Chacclaccocha, todo este tramo es una trocha carrozable en regular estado de conservación. El tiempo de viaje es de tres horas, usando una camioneta adecuada para trocha carrozable.



**Figura 3: Vista de la laguna Chacclaccocha, emplazada en un círculo glaciar conformada por roca ígnea**

*Nota:* Grupo técnico, conformado por un geólogo, geofísico y especialistas en obras hidráulicas.  
FUENTE: Elaboración propia

## 4.2. ESTUDIOS PREVIOS

### 4.2.1. Topografía

El estudio tiene como objetivo realizar el Levantamiento Topográfico de las áreas donde se proyecta la creación del servicio de agua para riego en los sectores de San José de Belén, Puquiococha, Los Ángeles y Laria en el distrito de Laria, Provincia de Huancavelica – Departamento de Huancavelica.

El objetivo principal es obtener planos topográficos, mientras que el objetivo secundario es obtener Bench Marks o puntos de control para los vasos de la presa proyectada y líneas de conducción en cantidad suficiente a fin de poder verificar las cotas para la correcta ejecución del proyecto.

El levantamiento Topográfico consiste en el establecimiento de puntos de control horizontal y vertical. En las zonas donde se realizó el levantamiento topográfico, se ubicaron puntos de control vertical consistentes en seis BM's para los casos de verificación, supervisión y replanteo del Proyecto. Geográficamente, la zona de estudio pertenece a la zona 18L con las coordenadas que se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 1: Coordenadas UTM**

Localidad	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Altitud
San José de Belén	490980	8612626	4098
Puquiococha	494317	8612287	3915
Los Ángeles	495353	8612083	3865
Laria	495992	8611381	3885

*Nota:* Datum: WGS 84, zona 18L.

FUENTE: Elaboración propia.

El levantamiento topográfico se desarrolló dentro del marco del trabajo de topografía a detalle.

Los trabajos de control terrestre se llevaron a cabo desarrollando las actividades siguientes:

- Realizar el vuelo con drone phantom 4 RTK por la línea de conducción.

- Recopilación de información en campo, recorrido previo y establecimiento de PIs.
- Reconocimiento y foto identificación de puntos de control terrestre, mediante imágenes satelitales y DEMs comerciales de 30 m de resolución.
- Monumentación de los puntos de control.

**Tabla 2: Puntos geodésicos**

Puntos Geodésicos	Este	Norte	Cota	Ubicación
GPS-01	282,174.17	8,364,852.07	4,469.37	PRESA
GPS-02	282,379.60	8,364,547.51	4,473.87	Plaza principal de Laria

Nota: Datum: WGS 84, zona 18L.

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 4: Trabajos topográficos de posicionamiento del GPS diferencial en la plaza principal de Laria**

FUENTE: Elaboración propia.

- **Procedimiento y ejecución**

Se emplea el método estático, que consiste en la utilización de un receptor base “Máster” sobre un punto con coordenadas conocidas de la Red Geodésica Nacional, y otro receptor llamado “Rover”, ninguno de los dos receptores se mueve durante el tiempo de medición.

Las coordenadas medidas no son obtenidas por el usuario en el campo, sino que son calculadas en gabinete utilizando el software apropiado. Dicho software pone en relación las series de la estación (o estaciones de referencia) con las series de los receptores de medida. Como la estación de referencia ha estado ubicada en un punto de coordenadas conocido, se puede saber en cada momento de la medición que error aproximado están induciendo los satélites; dicho error es compensado sobre la serie del receptor medidor. La idea principal de este método es que las señales que han llegado hasta la estación base han recorrido prácticamente la misma región atmosférica que las señales que han llegado hasta el receptor medidor con lo cual ambas señales han estado sometidas al mismo tipo de degradaciones (sobre todo por efecto de la ionosfera)



**Figura 5: Trabajos topográficos. Monumentado de puntos geodésicos**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 6: Vista del posicionamiento de la Estación Total**

*Nota:* En base a 2 puntos de control se desarrollará el levantamiento.

FUENTE: Elaboración propia.

- **Trabajos de fotogrametría**

Para los trabajos de fotogrametría se ha utilizado el Drón Phantom IV RTK. En total se han tomado 400 imágenes, que corresponden a un área de 6 hectáreas.

La resolución es un parámetro fotográfico que se toma en cuenta al momento de calibrar la cámara y hacer capturas de imágenes, cada una de estas puede expresarse visualmente en una cantidad limitada de píxeles, usualmente fija, dependiendo del tipo de cámara y la configuración establecida. La cámara usada por nuestro equipo Phantom IV RTK es de 20.0 megapíxeles. La resolución de la fotografía dependerá de la altura o distancia a la cual el dron efectúa el vuelo sobre el terreno. Cuanto más bajo sea el vuelo, mayor la resolución (menos cm por píxel). Cuanto más alto el vuelo, menor la resolución (más cm por píxel). La resolución en cm/píxel depende del plan de vuelo y los requisitos del trabajo.

Las imágenes obtenidas por la cámara equipada, con dispositivo GPS y los sensores incorporados en el dron, contiene la información del área contenida en cada píxel: información de los sistemas satelitales de posicionamiento terrestre (georeferenciación), altitud y color, expresados conforme a los sistemas de coordenadas y posicionamiento globales más comunes.

En nuestro caso la resolución programada indica el área de cobertura de cada píxel al momento de la captura de la imagen a una altura programada. La resolución promedio de cada imagen capturada es de 10 cm/píxel.



**Figura 7: Vista de trabajos topográficos de fotogrametría con Drone Phantom IV RTK**

FUENTE: Elaboración propia.



#### **4.2.2. Geomorfología**

La morfología del área de estudio es el resultado de los efectos de degradación causados por los agentes de meteorización, que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas principalmente por roca ígnea y sedimentaria.

La temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y el drenaje del área han tenido un papel preponderante en la geomorfología actual del lugar. Las unidades geomorfológicas del área de estudio han sido definidas considerando criterios geográficos y morfoestructurales. Se han identificado morfología glaciaria y valles principalmente.

El área del presente estudio se encuentra emplazada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes centrales peruanos, por altitud y fisiografía se presentan las siguientes unidades geomorfológicas:

- **Morfología glaciaria**

Esta unidad geomorfológica comprende la parte alta del área de estudio, desde la cota 4,400 m.s.n.m. aproximadamente hasta una altitud de 4,800 m.s.n.m. Aquí se encuentra la laguna Chacclacocha, donde en el lado este se ubicará la presa del proyecto. La erosión ha generado la socavación de la roca formando una depresión en donde se almacena el recurso hídrico, el cual se alimenta por las precipitaciones del lugar. Los depósitos morrénicos se encuentran en las partes altas de la laguna.

Morfológicamente la zona de trabajo está representado por pendientes que fluctúan entre 25° a 70°. El material que lo conforma es cuaternario inconsolidado, se estima que el espesor de este material es de 2 metros aproximadamente, y está cubriendo con roca ígnea tipo andesítico.

- **Valles y quebradas**

Esta unidad geomorfológica corresponde a los valles interandinos constituidos por el río Chacclacocha y de sus tributarios que se encuentran distribuidos en las laderas de los cerros. Se observan fondos de valles mostrando la forma típica en V en partes



del recorrido, se presentan laderas con pendientes fuertes, varios cubiertos de material coluvial y otros debido al deslizamiento.

Las quebradas generalmente se encuentran como afluentes de los ríos principales que a veces presentan pequeñas zonas de cultivo.

#### **4.2.3. Geología regional**

La geología regional de la zona de estudio está ubicada en el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Conayca hoja 26-m, el cual fue publicado por el INGEMMET a escala 1/100000. Las características geológicas del área de estudio están representadas por dos fases tectónicas caracterizadas por lineamientos estructurales, éstas corresponden al Ciclo Hercínico y el Ciclo Andino.

#### **4.2.4. Geología local del área de embalse**

El área de estudio se encuentra zonificada geológicamente en el lado oriental de la Cordillera Central de los Andes peruanos, en el área se presentan rocas ígneas y sedimentarias, sobre estas se ubican depósitos recientes de tipo coluvial.

En el área donde se emplazará la presa se ha identificado roca ígnea y en algunas zonas se aprecia en superficie fracturamiento de la misma.

Del reconocimiento de campo, y al observar el Mapa Geológico del cuadrángulo de Conayca, Hoja 26-m, publicado por el Ingemmet a escala 1/100000 (Figura N° 10), se ha determinado que la formación rocosa predominante en el área de estudio son rocas de origen ígneo.



- **Depósitos Cuaternarios (Qr-al)**

Son acumulaciones de materiales detríticos inconsolidados, que cubren los taludes de los cerros, así como las márgenes de los ríos. Sobre este material se encuentra finos conformado por limo y arcillas poco consolidadas, como se presenta en la zona del proyecto.



**Figura 11: Fotografía tomada al lado oeste de la laguna Chacclacocha. Nótese la morfología de valle glaciar, emplazada en roca ígnea**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 12: Fotografía tomada al lado sur. Nótese el material fino que cubre la ladera del cerro de caliza de la Formación Condorsinga**

FUENTE: Elaboración propia.

#### **4.2.5. Geomorfología Estructural**

Las estructuras geológicas existentes en el área de estudio están relacionadas a los ciclos evolutivos de las tectónicas Hercínica y Andina. (Minem)

Los rasgos estructurales están dominados por dos tipos, uno son las fallas y lineamientos de rumbo andino, esto está bien marcado en la zona con la presencia de fallas inversas ubicadas a una distancia de 6 kilómetros hacia el lado este del eje de la presa proyectada. El segundo rasgo estructural son los pliegues de dirección andina que se presentan en las rocas calizas de la formación Condorsinga, se presentan rodeando al subvolcánico andesítico brechado. Esto es observado al subir por la carretera desde el poblado San José de Belén hacia la ubicación de la obra proyectada.

#### **4.2.6. Geodinámica Externa**

La geodinámica externa está subordinada a la actividad pluvial de la zona principalmente. En la parte alta de la quebrada Chacclacocha, los taludes presentan este problema, por lo que puede presentarse deslizamiento superficial.

Sobresaturación del suelo, este fenómeno tiene su origen en el discurrimiento de agua por las fuertes precipitaciones pluviales que se dan en los meses de lluvia.

#### **4.2.7. Geodinámica Interna**

La geodinámica interna está relacionada a la actividad sísmica del área en estudio y esta directamente influenciado por las fallas presentes. En el proyecto no se evidenció fallas activas.

Según el mapa de zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona 3, en la cual el factor de zona “z” en suelo rígido es de 0,35; el tipo de perfil del suelo es considerado como S1: Roca o suelos muy rígidos. A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos, con velocidades de propagación de onda de corte entre 500 m/s y 1500 m/s, que corresponde a una roca con resistencia al corte en condición no drenada mayor a 100 kPa (Ministerio de vivienda, 2019).

### **4.3. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS, REFRACIÓN SÍSMICA Y DEL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)**

#### **4.3.1. Fundamentos teóricos**

##### **4.3.1.1. Ondas sísmicas**

Por definición, es un tipo de onda elástica que se propaga a través de un medio provocando perturbaciones tensionales. Las fuentes que provocan este tipo de perturbación elástica son las siguientes: terremotos, efectos de la calidad del suelo, ruido industrial, tráfico de vehículos, oleaje, efectos del viento sobre los árboles, etc. Se llaman perturbaciones elásticas porque no cambian las propiedades elásticas de los componentes del suelo. Después de una perturbación, varios tipos de ondas viajan dentro y a lo largo de la superficie de la Tierra. Las ondas generadas se pueden dividir en dos categorías: ondas de cuerpo y ondas superficiales (Suárez, 2017).

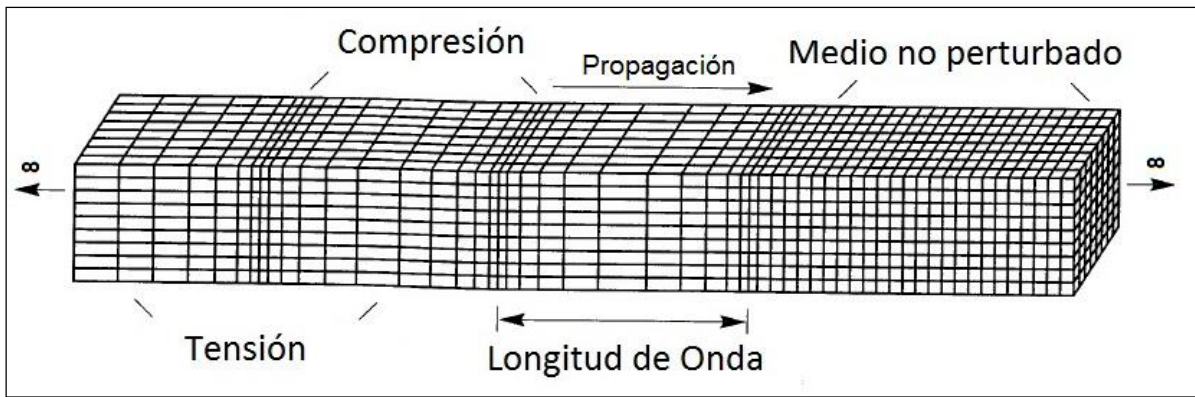
Cabe destacar que, al generar una perturbación en el suelo, el 67 % de la energía corresponde a ondas superficiales, el 26% a ondas de corte y el 7% a ondas de compresión (Woods, 1968).

##### **4.3.1.2. Ondas sísmicas de cuerpo**

Las ondas de cuerpo viajan por el interior de la Tierra, siguen trayectorias curvas debido a las diferentes densidades y composiciones de su interior. Este efecto es similar a la refracción de las ondas de luz. Las ondas de cuerpo transmiten el movimiento inicial de un terremoto y pueden tener poca fuerza destructiva. Las ondas corporales se dividen en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S) (López, 2016, P. 19).

- **Ondas Primarias u Ondas P**

Son un tipo de onda que hace que las partículas vibren en la dirección de propagación de la onda, su movimiento es similar al de las ondas sonoras, comprimiendo y expandiendo alternativamente el medio sólido en el que viajan, estas ondas también se denominan ondas longitudinales o de compresión (Suárez, 2017).

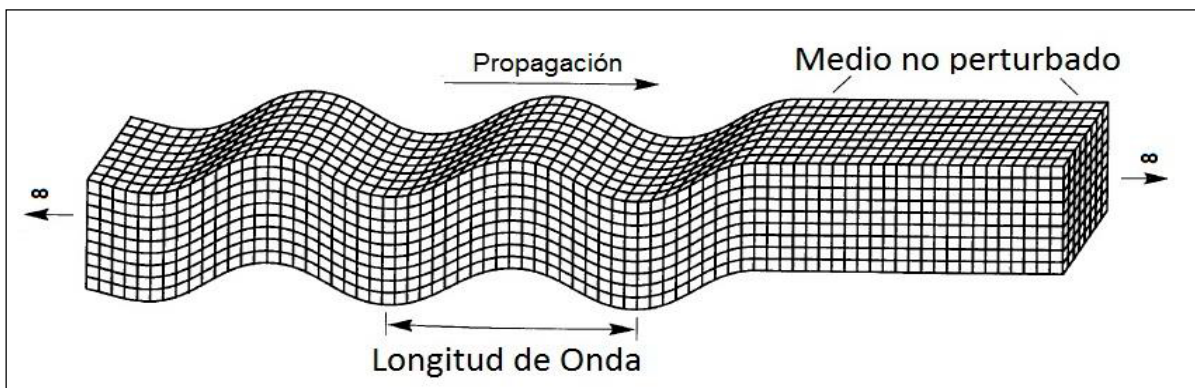


**Figura 13: Deformación producida por onda de compresión**

FUENTE: (Kramer, 1996)

- **Ondas Secundarias u Ondas S**

Son un tipo de onda que hace vibrar partículas perpendiculares a la trayectoria de la onda, creando un esfuerzo cortante en el medio sólido en el que se propagan; las ondas S también se conocen como ondas cortantes. La dirección de propagación de las partículas del suelo permite dividir las ondas de corte en dos componentes: SV (movimiento en el plano vertical) y SH (movimiento en el plano horizontal) (Suárez, 2017).



**Figura 14: Deformación producida por onda de corte**

FUENTE: (Kramer, 1996)

La velocidad de las ondas de cuerpo varía según la rigidez de los materiales por los cuales viaja. (Kramer, 1996). En ingeniería geotécnica, el parámetro de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) es importante porque permite la caracterización dinámica de los depósitos del suelo, ya que en base a este parámetro se puede establecer y analizar el comportamiento del suelo bajo cargas cíclicas, lo cual es importante para desarrollar

el diseño estructural en edificaciones.

#### 4.3.1.3. Ondas sísmicas de superficie

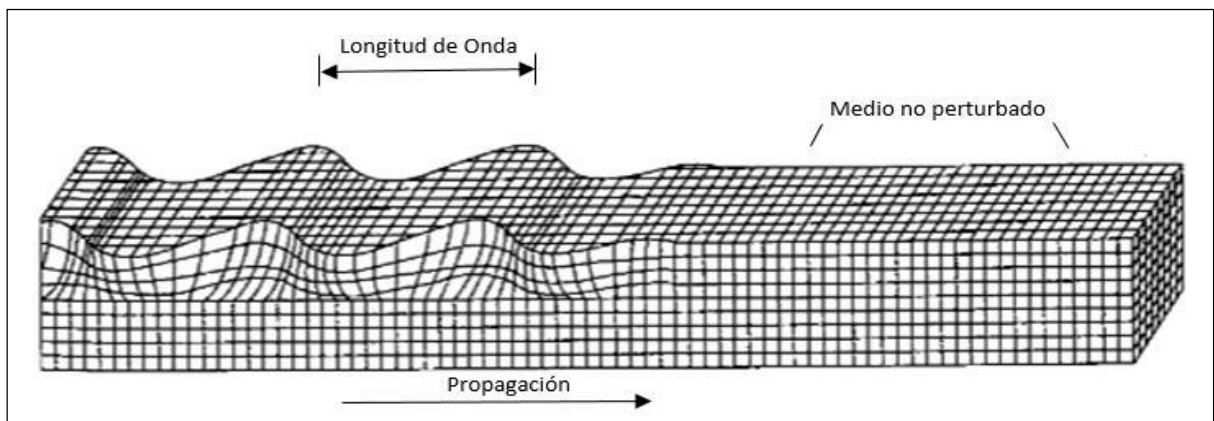
Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love (López, 2016, p. 20).

Pueden ser generadas por fuentes naturales (sismos, oleaje, viento, etc.) o artificiales (actividad humana), y pueden estar ubicadas tanto al interior como al exterior de la Tierra. El movimiento producido por las ondas superficiales está restringido a la parte superior de la corteza, a una profundidad de unos 30 km (Sauter, 1989).

Existen dos tipos fundamentales de ondas superficiales: Ondas Love u ondas L y Ondas Rayleigh u ondas R.

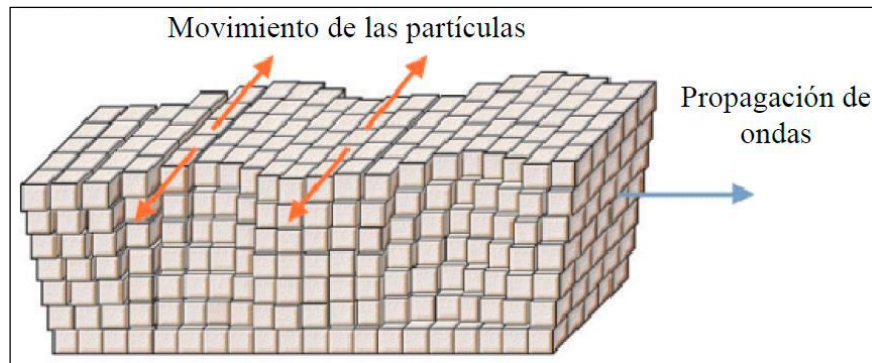
- **Ondas Love u ondas L**

Son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra. Fueron bautizadas por Augustus Edward Hough Love, un matemático británico que creó un modelo matemático de las ondas en 1911. La velocidad de las ondas Love es un 90% de la velocidad de las ondas S y su movimiento es similar a esta (López, 2016, p. 21).



**Figura 15: Deformación producida por Ondas de Love**

FUENTE: (Kramer, 1996)



**Figura 16: Modelo de propagación de las ondas Love**

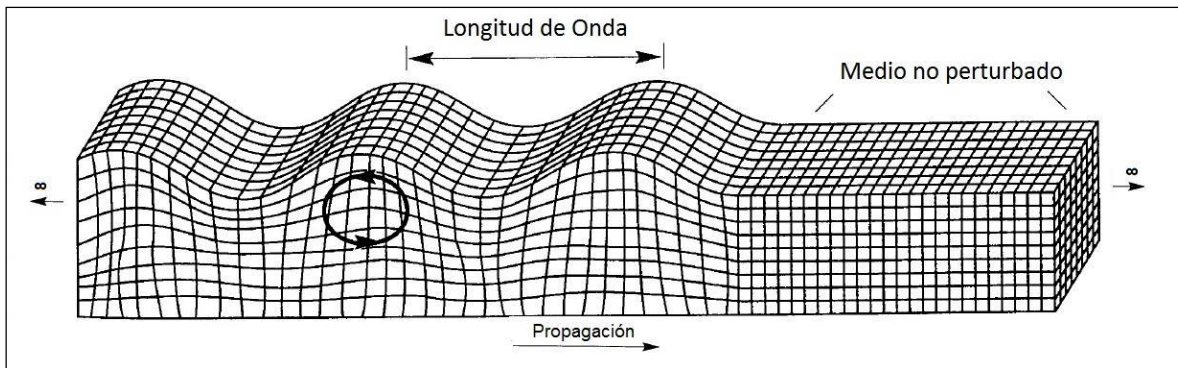
FUENTE: (López, 2016)

- **Ondas Rayleigh u ondas R**

Son ondas superficiales, que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo, su existencia fue predicha por John William Strutt en 1885. Son ondas más lentas que las ondas de cuerpo y su velocidad de propagación es casi un 90% de la velocidad de las ondas S.

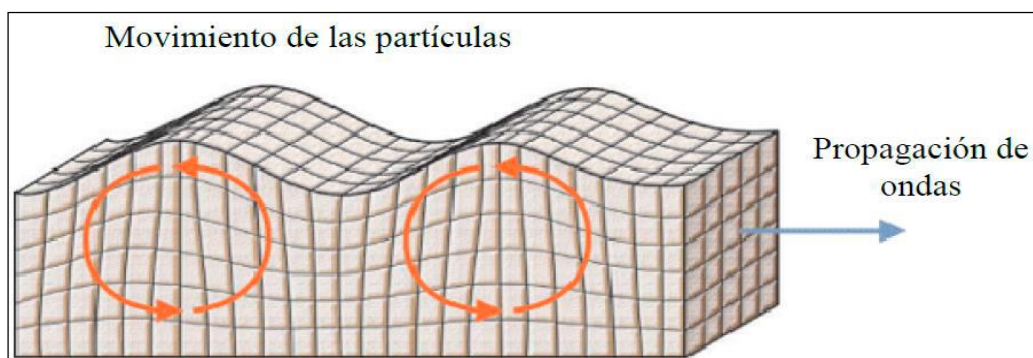
Son ondas superficiales que viajan a lo largo de una superficie “libre”, tal como las interfaces tierra-aire o tierra-agua, su movimiento es similar al de las ondas en la superficie del agua, haciendo vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimientos elípticos horizontal y vertical simultáneamente. Son ondas de baja velocidad, baja frecuencia y gran amplitud, se puede decir que son el resultado de la interferencia de ondas P y el movimiento vertical de las ondas de corte. En un medio homogéneo, el movimiento de las partículas del modo fundamental de las ondas Rayleigh que se mueven de izquierda a derecha, es elíptico a lo largo de la superficie libre, en dirección antihoraria. El movimiento está limitado a un plano vertical, consistente con la dirección de propagación de la onda. El ground roll es un tipo particular de las ondas Rayleigh y se propaga a lo largo o cerca de la superficie del suelo, aunque se considera ruido en estudios de ondas de cuerpo (es decir, perfiles de reflexión y refracción) el ground roll presenta propiedades dispersivas que son utilizadas para inferir propiedades elásticas cercanas a la superficie (Suárez, 2017, p. 21).





**Figura 17: Deformación producida por Ondas de Rayleigh**

FUENTE: (Kramer, 1996)



**Figura 18: Modelo de propagación por Ondas de Rayleigh**

FUENTE: (López, 2016)

#### 4.3.1.4. Velocidad de ondas sísmicas y módulo elástico

Las velocidades de las ondas de cuerpo de los geo-materiales, la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ) y la velocidad de las ondas de compresión ( $V_p$ ), se pueden relacionar con el módulo elástico del medio por el cual las ondas se propagan. La relación entre el módulo elástico y la velocidad de la onda de cuerpo es utilizada en estudios de geofísica a fin de obtener información sobre la distribución espacial de las propiedades mecánicas del subsuelo en el sitio en estudio (Suárez, 2017, p. 24).

#### 4.3.1.5. Ensayo de refracción sísmica

El científico alemán Ludger Mintrop (1880-1956), fue uno de los fundadores de la refracción sísmica, pues en 1917 patentó el llamado sismógrafo de campo portátil y un método para localizar fuentes de choque artificiales (ABC Geotechnical Consulting, s.f.).

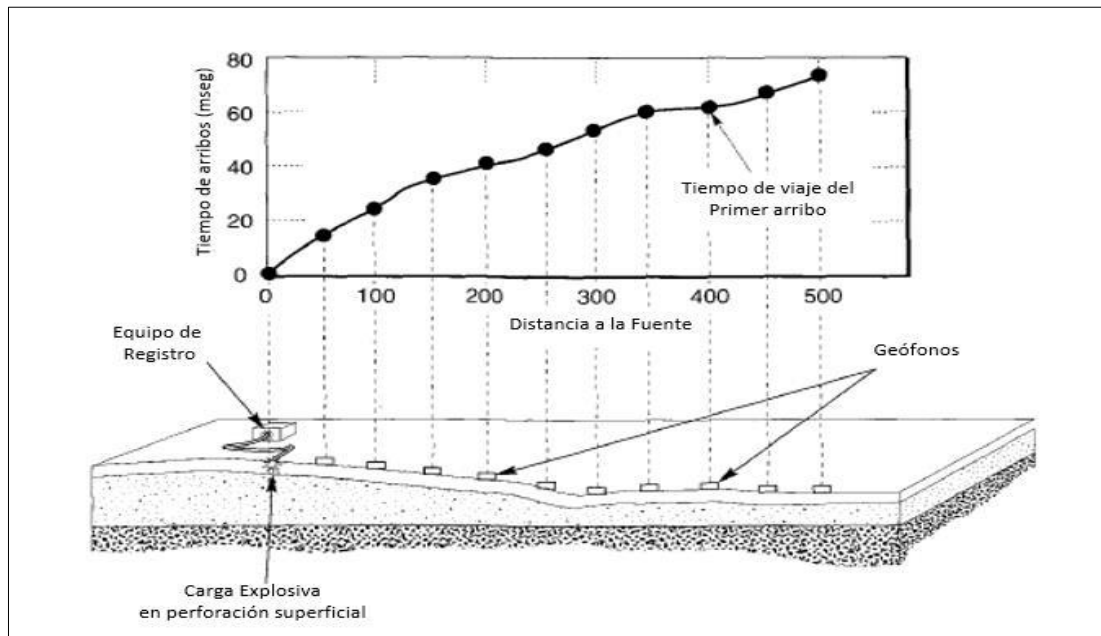
Es un ensayo que permite medir el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación, para esto se cuenta con una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción sísmica. El ensayo se utiliza para la medición de espesores de recubrimiento, profundidad de nivel freático, prospección petrolera y en la realización estudios hidrogeológicos, permite la localización (profundidad del sustrato), posición del acuífero bajo ciertas condiciones, así como la caracterización de suelos.

La aplicación más común de la refracción sísmica en la Geotecnia es para la determinación de la profundidad a basamento en los proyectos de construcción de represas y grandes hidroeléctricas, y para la determinación de las condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca en donde se asentarán las estructuras, así como por donde se realizarán los túneles. También es muy útil para detección de fallas geológicas. En el caso de contextos urbanos la refracción resulta útil para la determinación de la profundidad a basamento y el perfil de velocidades de onda P y S; y para la extrapolación lateral de perforaciones puntuales de suelos. El método utiliza la llegada de las primeras ondas a los geófonos, ondas P, pero como también las llegadas de las ondas S, de tal manera que se pueden determinar la relación de Poisson y otros módulos dinámicos (López, 2016, p. 22).

En resumen el ensayo permite detectar variaciones tanto en profundidad como en la horizontal de la velocidad de la onda P y de la S, permite ubicar la profundidad del basamento y de su relieve, dependiendo de variables como longitud del tendido, energía de la fuente sísmica, velocidades de los suelos. En contraparte sólo funciona cuando la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad. En el caso de suelos con capas intermedias de menor velocidad el método arrojaría resultados erróneos y para el caso de aplicaciones urbanas el ensayo está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión libre pues la longitud del tendido de la línea sísmica en superficie está directamente proporcional con el alcance de profundidad a explorar.

En la figura 19 podemos apreciar un típico ensayo de refracción. Donde se observa una fuente de energía impulsiva, que puede ser mecánica o explosiva, ésta se localiza en o cerca de la superficie del suelo. Una serie de receptores, usualmente geófonos, que se ubican en

un arreglo lineal. Conectados a la fuente se ubica un equipo de registro, que almacena el momento cuando se provoca la carga de impulso. Desde el equipo de registro se puede determinar el tiempo de llegada de las primeras ondas en cada receptor, lo que permite dibujar la gráfica distancia-tiempo.



**Figura 19: Representación del ensayo de Refracción sísmica**

FUENTE: (Kramer, 1996)

- **Propagación y trayectoria de las ondas sísmicas**

Al producir ondas sísmicas a partir de golpes en el suelo usando un martillo o con explosiones de pólvora, éstas generarán tanto ondas sísmicas internas, primarias (P) y secundarias (S), como superficiales ondas love (L) y rayleigh (R).

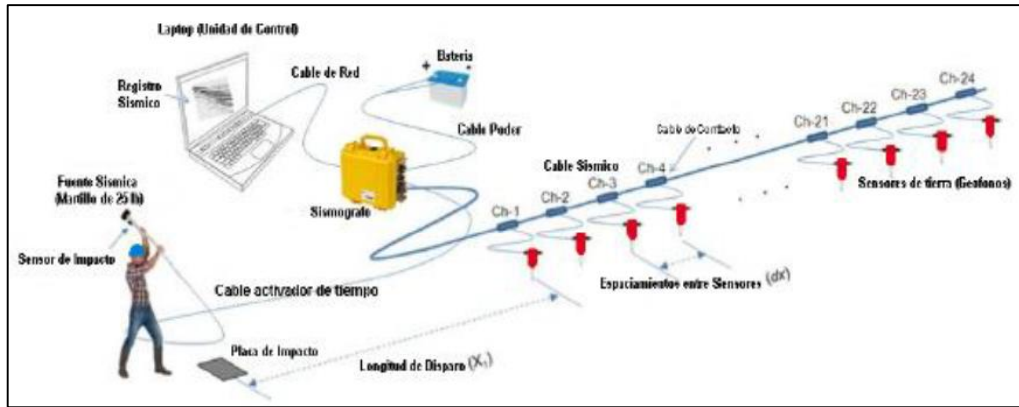
Las ondas P, también conocidas como ondas longitudinales, son las de mayor interés en la refracción sísmica. Las leyes que rigen la propagación y la trayectoria de las ondas sísmicas en la refracción, son las mismas que se utilizan en óptica: Principio de Huygens, Principio de Fermat, y Ley de refracción (o de Snell) (López, 2016, p. 23).

- **Equipos de medición**

Los componentes del equipo para el ensayo sísmico son:

- a. Una fuente de generación de ondas (Una comba grande, explosivos disparos)

- b. Detectores de los movimientos del terreno ( Sensores dispuestos en línea recta)
- c. Equipo de acopio y almacenamiento (Unidad de apilamiento y digitalización)



**Figura 20: Ensayo de refracción sísmica**

FUENTE: ([Equipo para desarrollar el ensayo de refracción sísmica],sf)



**Figura 21: Ensayo de refracción sísmica - generación de ondas**

*Nota:* Trabajos de campo UNALM, 2016

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 22: Ensayo de refracción sísmica - Detectores de movimiento del suelo Geófonos**

*Nota:* Los geófonos se colocaron en una distribución lineal distanciados cada 2 metros son detectores de movimiento del suelo convirtiendolo en una señal eléctrica. - Trabajos de campo UNALM, 2016.

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 23: Ensayo de refracción sísmica - equipo de acopio y almacenamiento**

*Nota:* Trabajos de campo UNALM, 2016

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 24: Ensayo de refracción sísmica – Geode y equipo de computo para la interpretación de datos**

Nota: Trabajos de campo UNALM, 2016

FUENTE: ([Geoide Geometrics],sf)

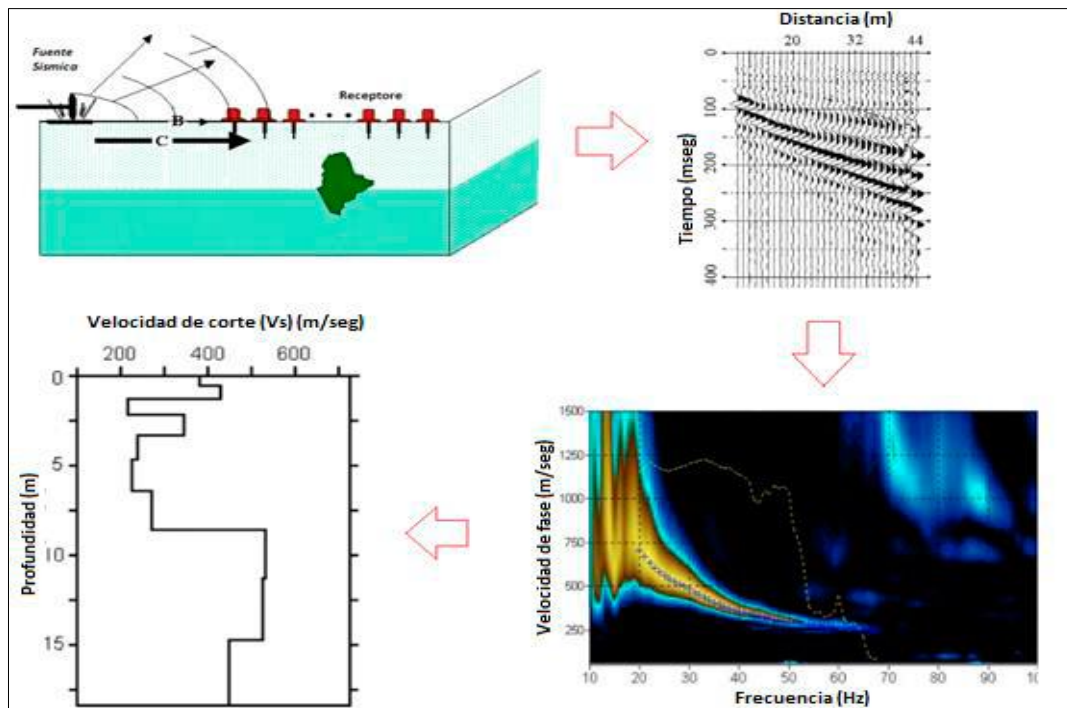
#### **4.3.1.6. Ensayo para el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)**

En principios de la década de 2000, el método MASW (Análisis multicanal de ondas superficiales) se hizo popular entre los ingenieros geotécnicos. El término «MASW» se originó en la publicación realizada en Geofísica por Park et al. (1999) (ABC Geotechnical Consulting, s.f.).

En general, las pruebas MASW se pueden dividir en pruebas pasivas y activas, según cómo se adquieran las ondas superficiales requeridas para el análisis. En las pruebas MASW activas, las ondas superficiales son generadas activamente por fuentes sísmicas pulsadas o vibratorias, mientras que las MASW pasivas utilizan ondas superficiales generadas por recursos naturales o actividades culturales como el tráfico de carreteras. El análisis MASW se desarrolló para superar algunas de las debilidades del análisis SASW. (Park y otros, 1999) En esta prueba, normalmente se necesita de una fuente que genere vibración, un pulso, que se mide mediante una matriz lineal de receptores. Esta prueba utiliza las propiedades de dispersión de las ondas superficiales para generar perfiles de velocidad de ondas de corte, en función de la profundidad. Básicamente, es una prueba de ingeniería sísmica que mide ondas superficiales de baja frecuencia (3-30 Hz), registradas por un sistema de múltiples receptores (12 o más) que se despliegan linealmente en la superficie, estos pueden ser colocados unos pocos a varios cientos de metros (2 -200m) (Suárez, 2017).

Para desarrollar el ensayo en la mayoría de los casos se considera estos pasos:

- Registro de datos de campo mediante el arreglo geófonos multicanal
- Extracción de la curva de Dispersión
- Análisis de inversión de la curva de dispersión para determinar el perfil de velocidad de onda de corte en función de la profundidad.



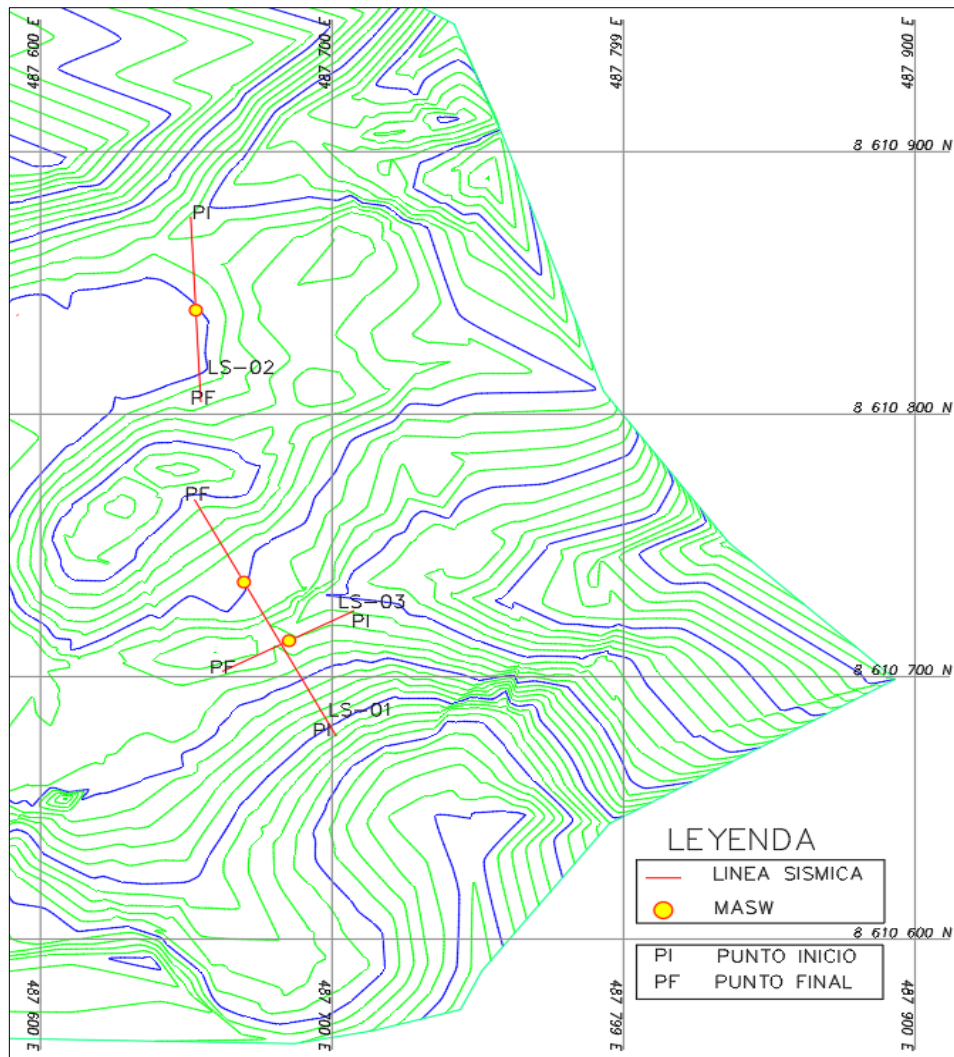
**Figura 25: Ensayo para el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)**

**– prueba activa**

FUENTE: (Park C. y otros, 2007)

#### **4.3.2. Ubicación de las líneas sísmicas para los ensayos de refracción y de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)**

Se ejecutaron tres líneas sísmicas y tres ensayos MASW, distribuidos adecuadamente en el área de trabajo con la finalidad de definir la estratigrafía del terreno, así como la compacidad del mismo en función de la velocidad de propagación de ondas compresionales. Se mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen de una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción. A partir de la interpretación de este ensayo se determina el perfil geo sísmico del terreno.



**Figura 26: Líneas sísmicas del proyecto**

FUENTE: Elaboración propia.

### 4.3.3. Ensayo de Refracción Sísmica

#### 4.3.3.1. Ubicación de las zona de análisis

Se desarrollo aguas debajo de la laguna Chacclaccocha.

**Tabla 3: Ubicación de las coordenadas del sitio de trabajo.**

Puntos	Proyecto de Irrigación	Coordenadas UTM/WGS 84, 18 L	
		Este	Norte
p-1	Laria	487612	8610956
p-2	Laria	487626	8610604
p-3	Laria	487858	8610618
p-4	Laria	487854	8610973

Nota: Datum: WGS 84, zona 18L.

FUENTE: Elaboración propia.





**Figura 27: Vista de la laguna Chacclacocha y la zona donde se plantean construir los embalses**

FUENTE: Elaboración propia.

#### **4.3.3.2. Procedimiento**

Consiste en medir los tiempos de viaje de las ondas compresionales (ondas P), generada por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a diferentes distancias a lo largo de la línea denominados shot. La fuente de energía es generalmente producida por el golpe de una comba. La energía es detectada, amplificada, y registrada mediante un proceso de conversión análogo digital de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto. El instante del impacto “Tiempo cero”, también es registrado conjuntamente con las vibraciones del suelo que arriban de los geófonos. En el ensayo, los datos son tiempos de viaje y distancias, siendo el tiempo de viaje el intervalo entre el “Tiempo cero” y el instante en que el geófono empieza a responder a la perturbación.

Para la interpretación del perfil de refracción se hace uso de tablas con valores típicos de velocidad de compresión.

**Tabla 4: Velocidad de onda de compresión Vp**

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

FUENTE: (Arce Herlberg, 1990)

#### 4.3.3.3. Descripción y análisis de los ensayos de refracción sísmica realizados

Se realizaron tres líneas de refracción sísmica, siendo las coordenadas de cada una de ellas las que se muestran en la siguiente tabla.

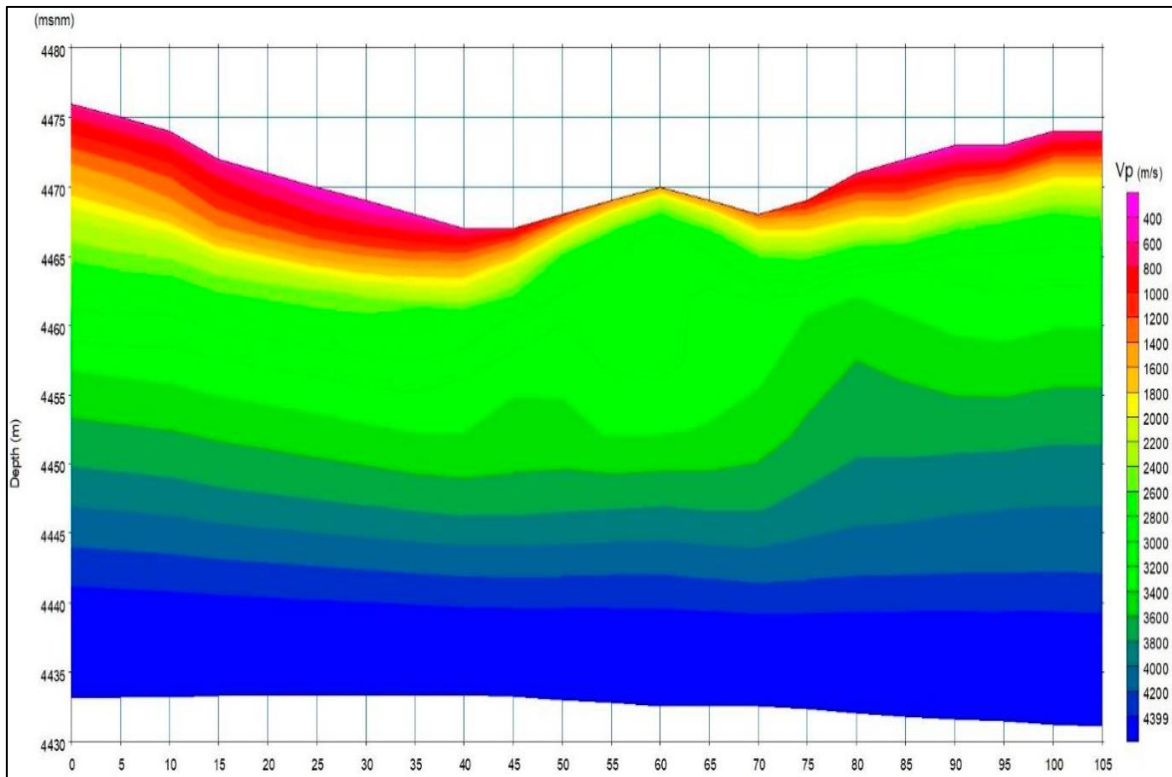
**Tabla 5: Ubicación de las líneas sísmicas realizadas**

Ensayo	Profundidad (m)	Coordenadas UTM (WGS84-Zona 18 SUR)				Longitud (m)
		Punto Inicial		Punto Final		
		Este	Norte	Este	Norte	
LS-01	35	487700	8610677	487651	8610766	105
LS-02	23	487655	8610803	487651	8610873	69
LS-03	17	487708	8610725	487663	8610701	51

FUENTE: Elaboración propia.

**a. Descripción y análisis del perfil geosísmico 01 obtenido de la línea de refracción sísmica 01**

Se presenta el perfil geosísmico según la velocidad de la onda compresional P.



**Figura 28: Perfil geosísmico 01**

*Nota:* Se aprecia las velocidades de las ondas P y los espesores de los estratos del modelo obtenido mediante el software de procesamiento Plotrefa, el procedimiento contiene la corrección topográfica. Información para el procesamiento de datos: <https://www.youtube.com/watch?v=cyIok9EIBPU>

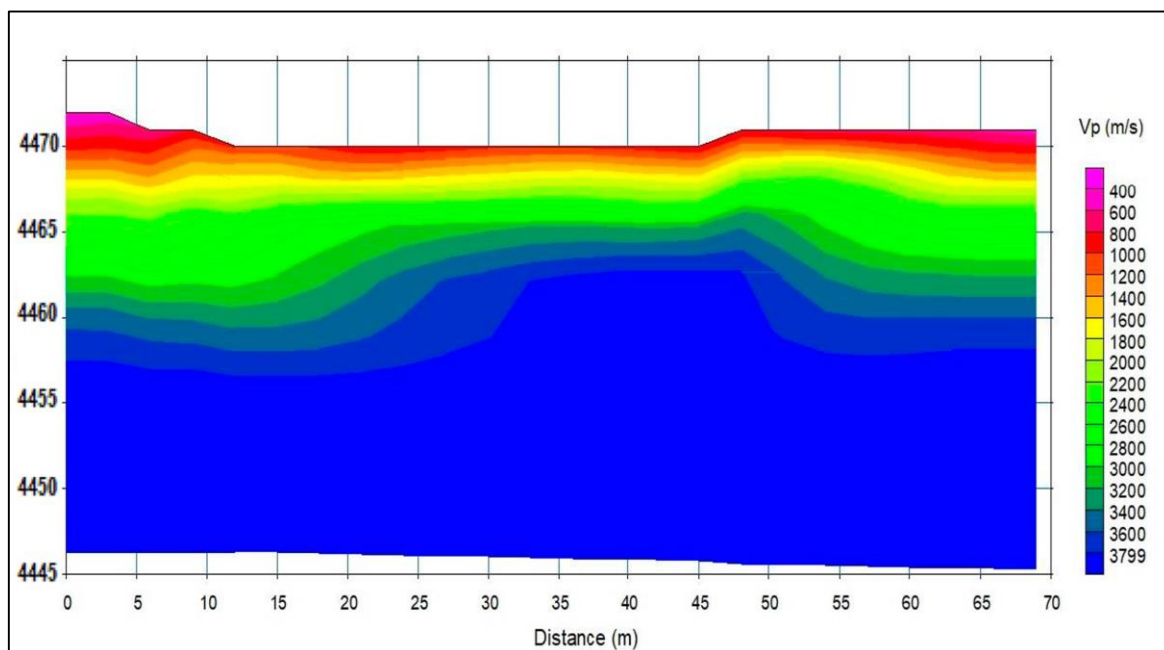
FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 6: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 01**

Líneas	Estrato geosísmico	Profundidad (m)	Vp (m/s)	Descripción
LS-01	1	0 - 3	0 - 1000	Material de cobertura suelto residual de roca altamente fracturada, hasta una profundidad de 3 metros, variando en profundidad a 0 m a 3 m a lo largo de la línea sísmica. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 1000 m/s a 2000 m/s.
	2	3 - 7	1000 - 2000	Roca muy alterada, la profundidad va de 3 metros a 7 metros, presentando un espesor de 4 m en los laterales del perfil y 1 metro de espesor al centro de la línea sísmica. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 1000 m/s a 2000 m/s.
	3	7 - 29	2000 - 4000	Roca alterada, desde una profundidad de 7 metros a 29 metros. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 2000 m/s a 4000 m/s.
	4	29 - 40	4000 - 5000	Roca poca alterada, desde una profundidad de 29 metros a 40 metros, se tiene una velocidad de onda "P" entre 4000 m/s a 5000 m/s

FUENTE: Elaboración propia.

**b. Descripción y análisis del perfil geosísmico 02 obtenido de la línea de refracción sísmica 02**



**Figura 29: Perfil geosísmico 02**

*Nota:* Se aprecia las velocidades de las ondas P y los espesores de los estratos del modelo obtenido mediante el software de procesamiento Plotrefa, el procedimiento contiene la corrección topográfica. Información para el procesamiento de datos: <https://www.youtube.com/watch?v=cyIok9EIBPU>

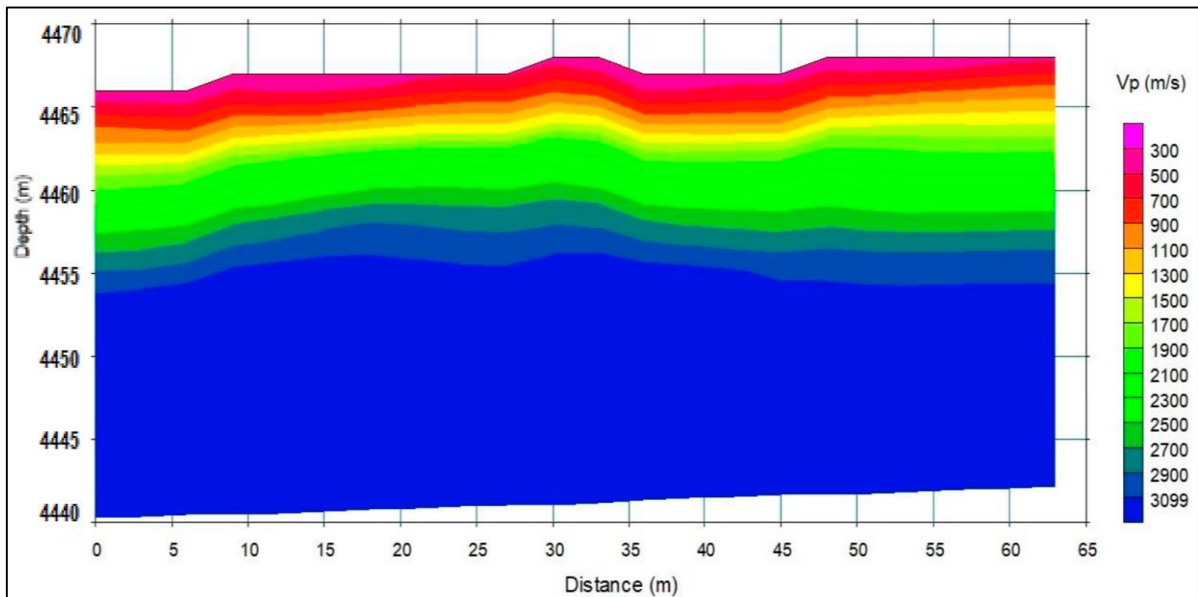
FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 7: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 02**

Líneas	Estrato geosísmico	Profundidad (m)	V <sub>p</sub> (m/s)	Descripción
LS-02	1	0 - 3	0 - 1000	Material de cobertura suelto residual de roca altamente fracturada, hasta una profundidad de 3 metros, variando en profundidad de 0 (cero) a 3 metros a lo largo de la línea sísmica. Se tiene una velocidad de onda "P" de entre 0 a 1000 m/s..
	2	3 - 8	1000 - 2000	Roca muy alterada, la profundidad va de 3 metros a 8 metros, presentando un espesor de 5 m en los laterales del perfil y variando de 1 a 5 metros de espesor al centro de la línea sísmica. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 1000 m/s a 2000 m/s..
	3	8 - 25	2000 - 4000	Roca alterada, desde una profundidad de 8 metros a 25 metros. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 2000 m/s a 4000 m/s.

FUENTE: Elaboración propia.

**c. Descripción y análisis del perfil geosísmico 03 obtenido de la línea de refracción sísmica 03**



**Figura 30: Perfil geosísmico 03**

*Nota:* Se aprecia las velocidades de las ondas P y los espesores de los estratos del modelo obtenido mediante el software de procesamiento Plotrefa, el procedimiento contiene la corrección topográfica. Información para el procesamiento de datos: <https://www.youtube.com/watch?v=cyIok9EIBPU>

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 8: Resumen de los espesores de cada estrato con su respectiva velocidad de onda P para la línea sísmica 03**

Líneas	Estrato geosísmico	Profundidad (m)	Vp (m/s)	Descripción
LS-03	1	0 - 3	0 - 1000	Material de cobertura suelto residual de roca altamente fracturada, hasta una profundidad de 3 metros, variando en profundidad de 0 (cero) a 3 metros a lo largo de la línea sísmica. Se tiene material con velocidad de onda "P" entre 0 a 1000 m/s..
	2	3 - 7	1000 - 2000	Roca muy alterada, la profundidad va de 3 metros a 7 metros, presentando un espesor de 4 m en los laterales del perfil y de 1 a 4 metros de espesor al centro de la línea sísmica. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 1000 m/s a 2000 m/s..
	3	7 - 27	2000 - 4000	Roca alterada, desde una profundidad de 7 metros a 27 metros. Se tiene una velocidad de onda "P" entre 2000 m/s a 4000 m/s.

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.3.4. Ensayo MASW

El ensayo MASW es un método activo de exploración geofísica que permite obtener el perfil unidimensional del suelo en función de la propagación de las ondas de corte “Vs”. El ensayo consiste en registrar los tiempos de viaje de las ondas de corte (ondas S), generada por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados en cada extremo del tendido de la línea. tanto, en general, los datos consisten en tiempos de viaje y distancias, siendo el tiempo de viaje el intervalo entre el “Tiempo cero” y el instante en que el geófono empieza a responder a la perturbación.

Los ensayos geofísicos de MASW se realizaron a fin de caracterizar el terreno en función a la velocidad de propagación de ondas de corte Vs, así como también determinar los parámetros elásticos del terreno.

Actualmente, las categorías del suelo usados en códigos de edificaciones para diseño sísmico son generalmente basados en la velocidad de las ondas que se propagan por las capas superficiales.

De acuerdo a la norma técnica peruana de diseño sismo resistente (E-030 2019), los suelos se clasifican en cuatro grupos diferentes que están en función del promedio de velocidades de onda de corte, correspondientes a cada capa existente en una potencia de 30m más superficiales. El concepto de Vs30 está basado en la idea de que la amplificación del terreno y los efectos de sitio ocurren principalmente en los primeros 30 metros de profundidad.

**Tabla 9: Norma E. 030. Diseño sismoresistente 2019.**

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

FUENTE: (Ministerio de vivienda, 2019)

A continuación se presenta una breve descripción de los perfiles de suelo.

**a. Perfil Tipo S<sub>0</sub>: Roca Dura**

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte  $\bar{V}_s$  mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de  $\bar{V}_s$  (Ministerio de vivienda, 2019).

**b. Perfil Tipo S<sub>1</sub>: Roca o Suelos Muy Rígidos**

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada  $q_u$  mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con  $\bar{N}_{60}$  mayor que 50.
- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$  mayor que 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad (Ministerio de vivienda, 2019).

**c. Perfil Tipo S<sub>2</sub> : Suelos Intermedios**

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$ , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada  $\bar{S}_u$ , entre 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad (Ministerio de vivienda, 2019).

#### d. Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$  menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$ , entre 25 kPa (0,25 kg/cm<sup>2</sup>) y 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad PI mayor que 20, contenido de humedad  $\omega$  mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$  menor que 25 kPa (Ministerio de vivienda, 2019).

#### e. Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine (Ministerio de vivienda, 2019).

#### 4.3.4.1. Descripción y análisis de los ensayos MASW realizados

Se realizaron tres ensayos MASW, siendo las coordenadas de cada una de ellos los siguientes:

**Tabla 10: Ubicación de los ensayos MASW.**

Ensayo	Profundidad (m)	Coordenadas UTM (WGS84-Zona 18 SUR)	
		Este	Norte
MASW-01	30	487669	8610736
MASW-02	30	487653	8610839
MASW-03	30	487685	8610713

FUENTE: Elaboración propia

A continuación se realiza la descripción y análisis de los modelos unidimensionales de ondas de corte S del ensayo MASW obtenidos.



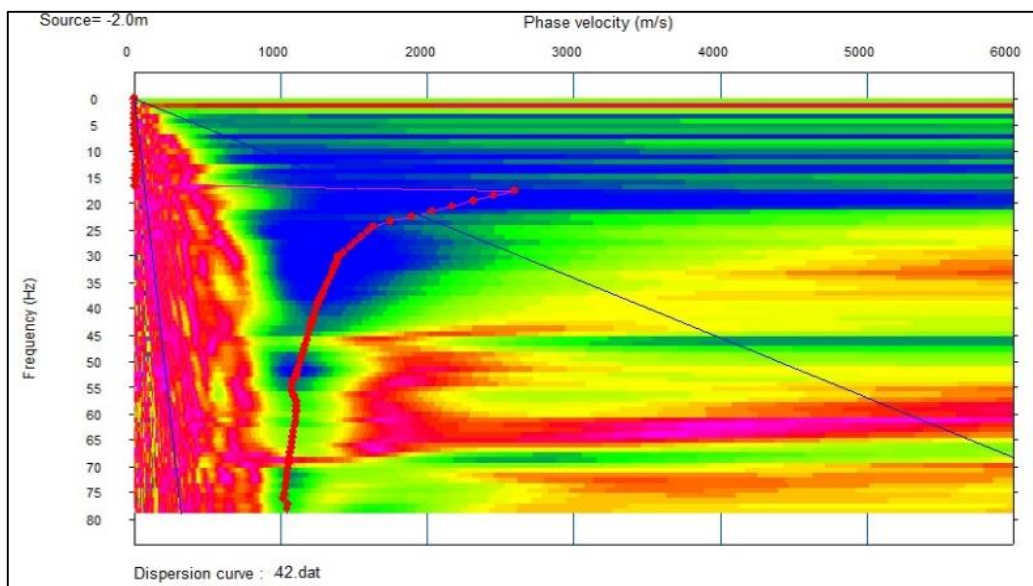
- **Descripción y análisis del modelo unidimensional de ondas de corte obtenido del ensayo MASW 01**

Se presenta la siguiente tabla indicando las características del modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 01.

**Tabla 11: Resumen del ensayo geofísico MASW 01**

Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Vs30 (m/s)	Descripción
MASW 01	0-20	S1	500-1500	Roca o suelo muy rigido
	20-30	S0	> 1500	Roca Dura

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 31: Curva de dispersión del ensayo MASW 01**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 32: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 01**

FUENTE: Elaboración propia.

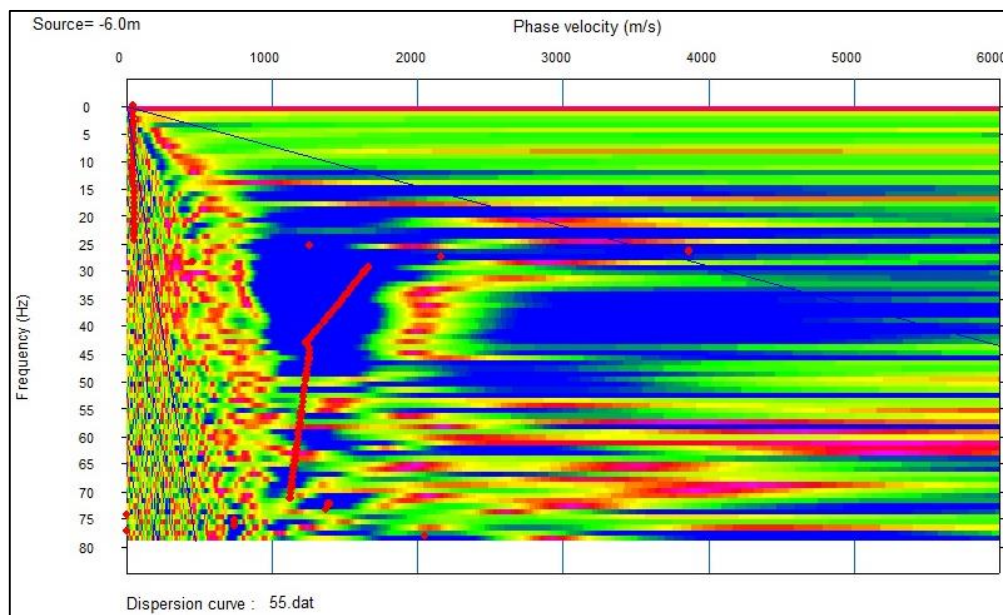
- **Descripción y análisis del modelo unidimensional de ondas de corte obtenido del ensayo MASW 02**

Se presenta la siguiente tabla indicando las características del modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 02.

**Tabla 12: Resumen del ensayo geofísico MASW 02**

Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Vs30 (m/s)	Descripción
MASW 02	0 a 10	S1	500-1500	Roca o suelo muy rígido
	10 a 30	S0	> 1500	Roca Dura

FUENTE: Elaboracion propia.



**Figura 33: Curva de dispersión del ensayo MASW 02**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 34: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 02**

FUENTE: Elaboración propia.

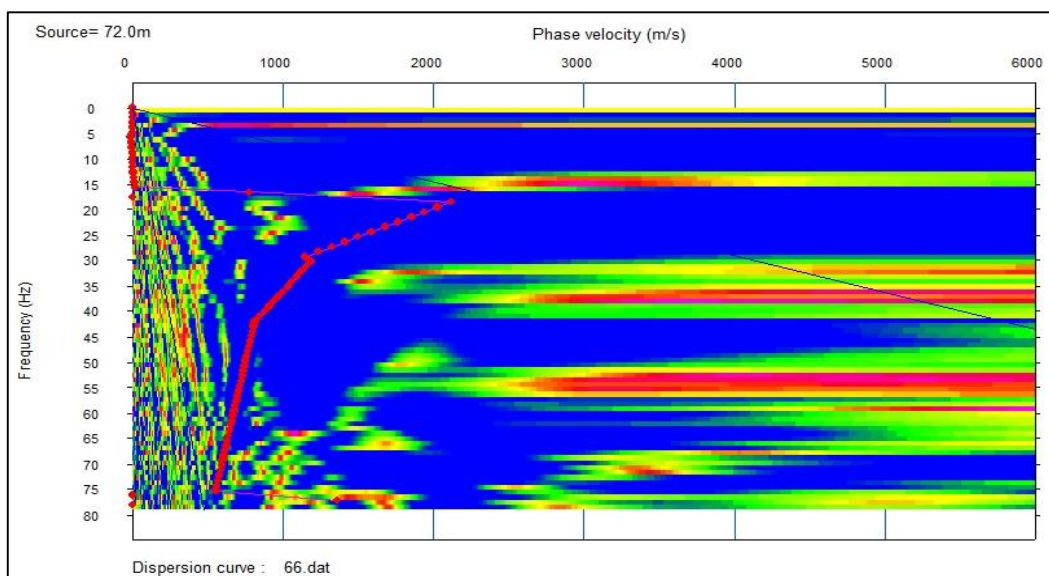
- **Descripción y análisis del modelo unidimensional de ondas de corte obtenido del ensayo MASW 03**

Se presenta la siguiente tabla indicando las características del modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 03.

**Tabla 13: Resumen del ensayo geofísico MASW 03**

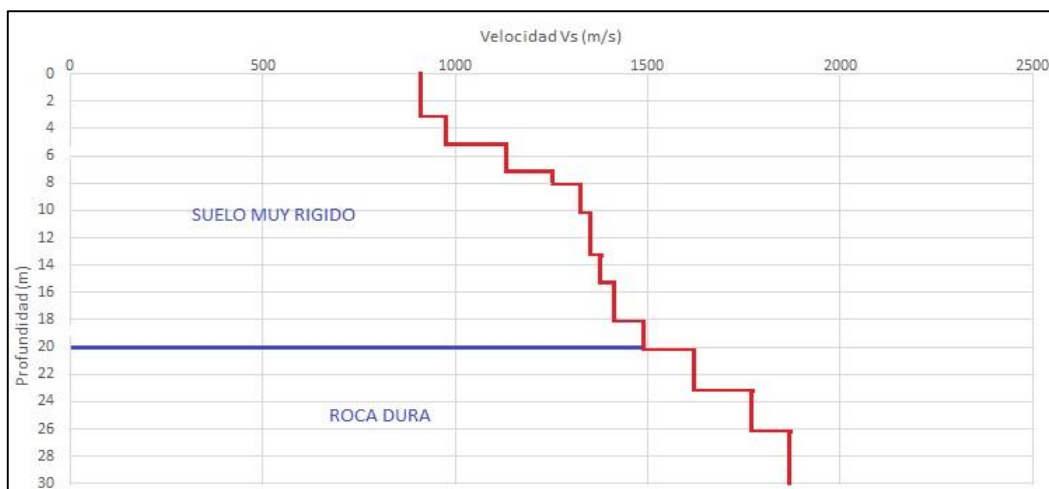
Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de perfil	Vs30 (m/s)	Descripción
MASW 03	0-26	S1	500-1500	Roca o suelo muy rigido
	26-30	S0	> 1500	Roca Dura

FUENTE: Elaboracion propia.



**Figura 35: Curva de dispersión del ensayo MASW 03**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 36: Modelo unidimensional de ondas de corte del ensayo MASW 02**

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.3.5. Parámetros elásticos

- **Módulo de Young**

El módulo de Young o de elasticidad (E) es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico según la dirección en la que se aplica una fuerza.

$$E = 2(1 + \mu)G$$

- **Coefficiente de Poisson**

El coeficiente o relación de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de una partícula de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

$$\mu = \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{2[(V_p / V_s)^2 - 1]}$$

- **Módulo de corte y módulo de incompresibilidad volumétrica**

Aplicando el álgebra tensorial, el módulo de rigidez se relaciona con el módulo de Young y el coeficiente de Poisson de acuerdo a la siguiente expresión:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

La relación entre el módulo de rigidez (G), la velocidad Vs y la densidad de un material geológico es la siguiente:

$$G = \rho V_s^2$$

La relación lineal entre el cambio fraccional del volumen y la presión hidrostática aplicada a una masa de material geológico está gobernada por el módulo de incompresibilidad volumétrica o de Bulk (K). La relación que tiene con el módulo de Young y el coeficiente de Poisson es:

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

#### 4.3.6. Tabla de parámetros elásticos obtenidos a partir de los ensayos geofísicos MASW realizados

En las siguientes tablas se muestran los resultados de parámetros elásticos obtenidos en tres ensayos MASW.

**Tabla 14: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 01**

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (g/cc)	Coefficient e poisson	Modulo de corte (N/m <sup>2</sup> )	Modulo de Young (N/m <sup>2</sup> )	Modulo volumetrico
0	2313	904	2.1	12.59	0.000168 x10 <sup>10</sup>	0.000456 x10 <sup>10</sup>	-0.000368 x10 <sup>10</sup>
1	2314	905	2.1	12.52	0.000168 x10 <sup>10</sup>	0.000456 x10 <sup>10</sup>	-0.000365 x10 <sup>10</sup>
2	2321	914	2.1	12.11	0.000171 x10 <sup>10</sup>	0.000450 x10 <sup>10</sup>	-0.000348 x10 <sup>10</sup>
4	2377	970	2.1	10.00	0.000194 x10 <sup>10</sup>	0.000427 x10 <sup>10</sup>	-0.000270 x10 <sup>10</sup>
5	2542	1127	2.1	6.29	0.000266 x10 <sup>10</sup>	0.000389 x10 <sup>10</sup>	-0.000150 x10 <sup>10</sup>
7	2667	1246	2.1	4.61	0.000329 x10 <sup>10</sup>	0.000370 x10 <sup>10</sup>	-0.000101 x10 <sup>10</sup>
9	2750	1322	2.1	3.87	0.000374 x10 <sup>10</sup>	0.000365 x10 <sup>10</sup>	-0.000822 x10 <sup>10</sup>
11	2782	1346	2.2	3.71	0.000390 x10 <sup>10</sup>	0.000368 x10 <sup>10</sup>	-0.000790 x10 <sup>10</sup>
13	2819	1372	2.2	3.57	0.000409 x10 <sup>10</sup>	0.000374 x10 <sup>10</sup>	-0.000766 x10 <sup>10</sup>
16	2869	1413	2.2	3.31	0.000437 x10 <sup>10</sup>	0.000378 x10 <sup>10</sup>	-0.000710 x10 <sup>10</sup>
18	2954	1489	2.2	2.83	0.000490 x10 <sup>10</sup>	0.000376 x10 <sup>10</sup>	-0.000586 x10 <sup>10</sup>
21	3086	1615	2.2	2.19	0.000582 x10 <sup>10</sup>	0.000372 x10 <sup>10</sup>	-0.000420 x10 <sup>10</sup>
24	3241	1765	2.3	1.62	0.000703 x10 <sup>10</sup>	0.000369 x10 <sup>10</sup>	-0.000277 x10 <sup>10</sup>
27	3333	1863	2.3	1.32	0.000784 x10 <sup>10</sup>	0.000364 x10 <sup>10</sup>	-0.000199 x10 <sup>10</sup>

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 15: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 02**

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (g/cc)	Coefficiente poisson	Modulo de corte (N/m <sup>2</sup> )	Modulo de Young (N/m <sup>2</sup> )	Modulo volumetrico (N/m <sup>2</sup> )
0	3157	1653	2.3	2.17	0.000621x10 <sup>10</sup>	0.000394 x10 <sup>10</sup>	-0.000440 x10 <sup>10</sup>
1	3164	1656	2.3	2.18	0.000623 x10 <sup>10</sup>	0.000396 x10 <sup>10</sup>	-0.000445 x10 <sup>10</sup>
2	3227	1716	2.3	1.94	0.000669 x10 <sup>10</sup>	0.000394 x10 <sup>10</sup>	-0.000379 x10 <sup>10</sup>
4	2418	998	2.1	9.39	0.000208 x10 <sup>10</sup>	0.000433 x10 <sup>10</sup>	-0.000256 x10 <sup>10</sup>
5	2708	1268	2.1	4.56	0.000344 x10 <sup>10</sup>	0.000383 x10 <sup>10</sup>	-0.000103 x10 <sup>10</sup>
7	2803	1360	2.2	3.64	0.000399 x10 <sup>10</sup>	0.000371 x10 <sup>10</sup>	-0.000778 x10 <sup>10</sup>
9	2856	1411	2.2	3.24	0.000432 x10 <sup>10</sup>	0.000366 x10 <sup>10</sup>	-0.000670 x10 <sup>10</sup>
11	3069	1602	2.2	2.23	0.000571 x10 <sup>10</sup>	0.000369 x10 <sup>10</sup>	-0.000425 x10 <sup>10</sup>
13	2916	1464	2.2	2.92	0.000470 x10 <sup>10</sup>	0.000369 x10 <sup>10</sup>	-0.000596 x10 <sup>10</sup>
16	3010	1547	2.2	2.48	0.000532 x10 <sup>10</sup>	0.000370 x10 <sup>10</sup>	-0.000489 x10 <sup>10</sup>
18	3126	1651	2.3	2.04	0.000613 x10 <sup>10</sup>	0.000374 x10 <sup>10</sup>	-0.000386 x10 <sup>10</sup>
21	3252	1769	2.3	1.64	0.000710 x10 <sup>10</sup>	0.000375 x10 <sup>10</sup>	-0.000286 x10 <sup>10</sup>
24	3531	2029	2.3	1.04	0.000952 x10 <sup>10</sup>	0.000389 x10 <sup>10</sup>	-0.000141 x10 <sup>10</sup>
27	3828	2308	2.4	0.65	0.000125 x10 <sup>10</sup>	0.000416 x10 <sup>10</sup>	-0.000437 x10 <sup>10</sup>

FUENTE: Elaboración propia.

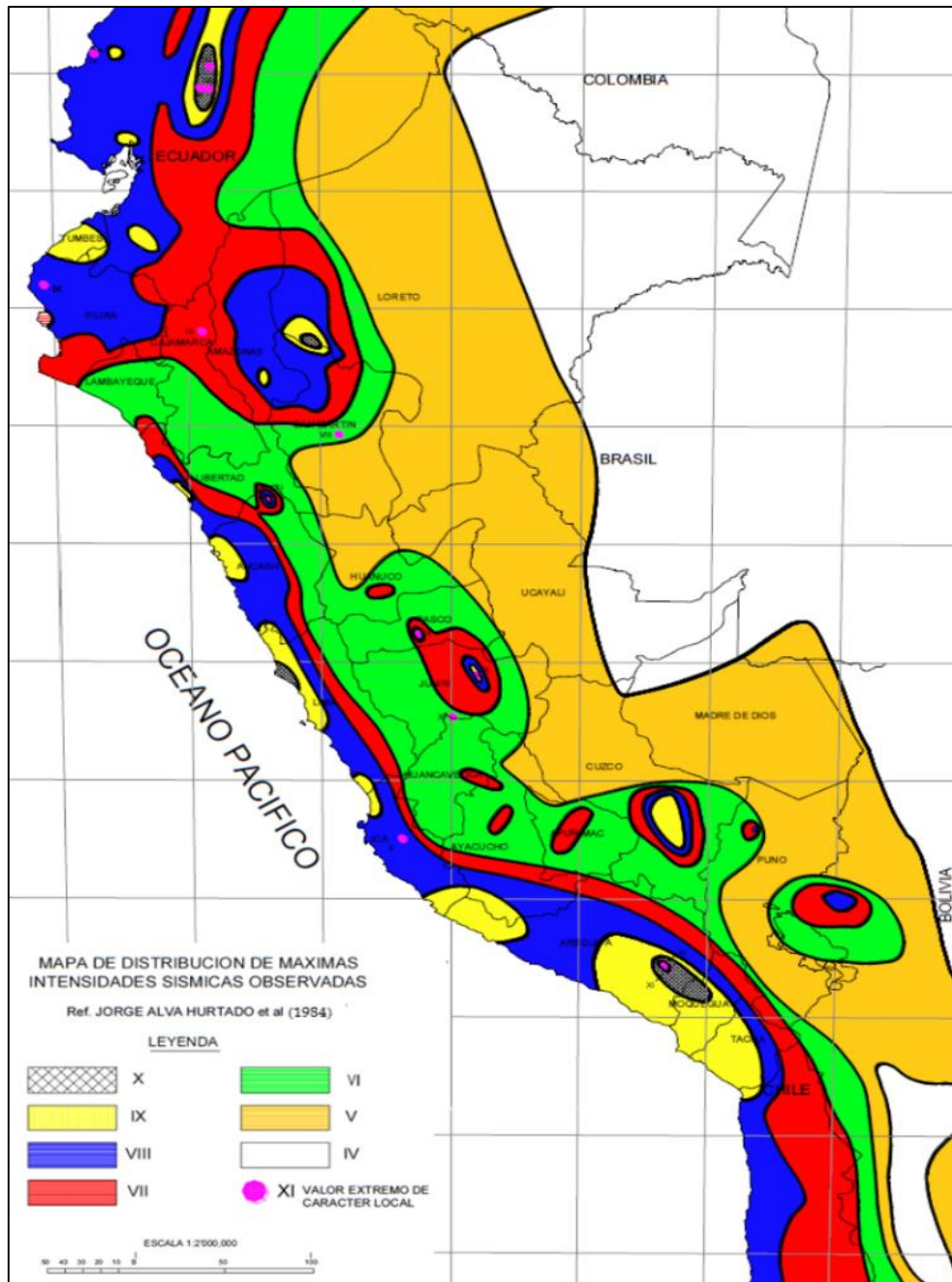
**Tabla 16: Relación de parámetros elásticos obtenidos del ensayo MASW 03**

Profundidad (m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Densidad (g/cc)	Coefficiente poisson	Modulo de corte (N/m <sup>2</sup> )	Modulo de Young (N/m <sup>2</sup> )	Modulo volumetrico (N/m <sup>2</sup> )
0	2136	769	2.0	19.24	0.000117x10 <sup>10</sup>	0.000476 x10 <sup>10</sup>	-0.000595 x10 <sup>10</sup>
1	2142	770	2.0	19.36	0.000118x10 <sup>10</sup>	0.000481 x10 <sup>10</sup>	-0.000604 x10 <sup>10</sup>
2	2171	793	2.0	17.82	0.000125x10 <sup>10</sup>	0.000472 x10 <sup>10</sup>	-0.000545 x10 <sup>10</sup>
4	2263	880	2.0	12.97	0.000155x10 <sup>10</sup>	0.000434 x10 <sup>10</sup>	-0.000360 x10 <sup>10</sup>
5	2389	995	2.0	8.96	0.000201x10 <sup>10</sup>	0.000401x10 <sup>10</sup>	-0.000226 x10 <sup>10</sup>
7	2458	1056	2.1	7.56	0.000229x10 <sup>10</sup>	0.000393x10 <sup>10</sup>	-0.000185 x10 <sup>10</sup>
9	2434	1030	2.1	8.20	0.000219x10 <sup>10</sup>	0.000404x10 <sup>10</sup>	-0.000207 x10 <sup>10</sup>
11	2413	1007	2.1	8.86	0.000210x10 <sup>10</sup>	0.000415x10 <sup>10</sup>	-0.000231 x10 <sup>10</sup>
13	2435	1025	2.1	8.47	0.000219x10 <sup>10</sup>	0.000416 x10 <sup>10</sup>	-0.000221 x10 <sup>10</sup>
16	2499	1084	2.1	7.17	0.000247x10 <sup>10</sup>	0.000404 x10 <sup>10</sup>	-0.000179 x10 <sup>10</sup>
18	2618	1194	2.1	5.34	0.000303x10 <sup>10</sup>	0.000384 x10 <sup>10</sup>	-0.000124 x10 <sup>10</sup>
21	2729	1298	2.1	4.13	0.000359x10 <sup>10</sup>	0.000369 x10 <sup>10</sup>	-0.000892 x10 <sup>10</sup>
24	2830	1395	2.1	3.30	0.000415x10 <sup>10</sup>	0.000356 x10 <sup>10</sup>	-0.000665 x10 <sup>10</sup>
27	2938	1497	2.1	2.64	0.000478x10 <sup>10</sup>	0.000348 x10 <sup>10</sup>	-0.000496 x10 <sup>10</sup>

FUENTE: Elaboración propia.

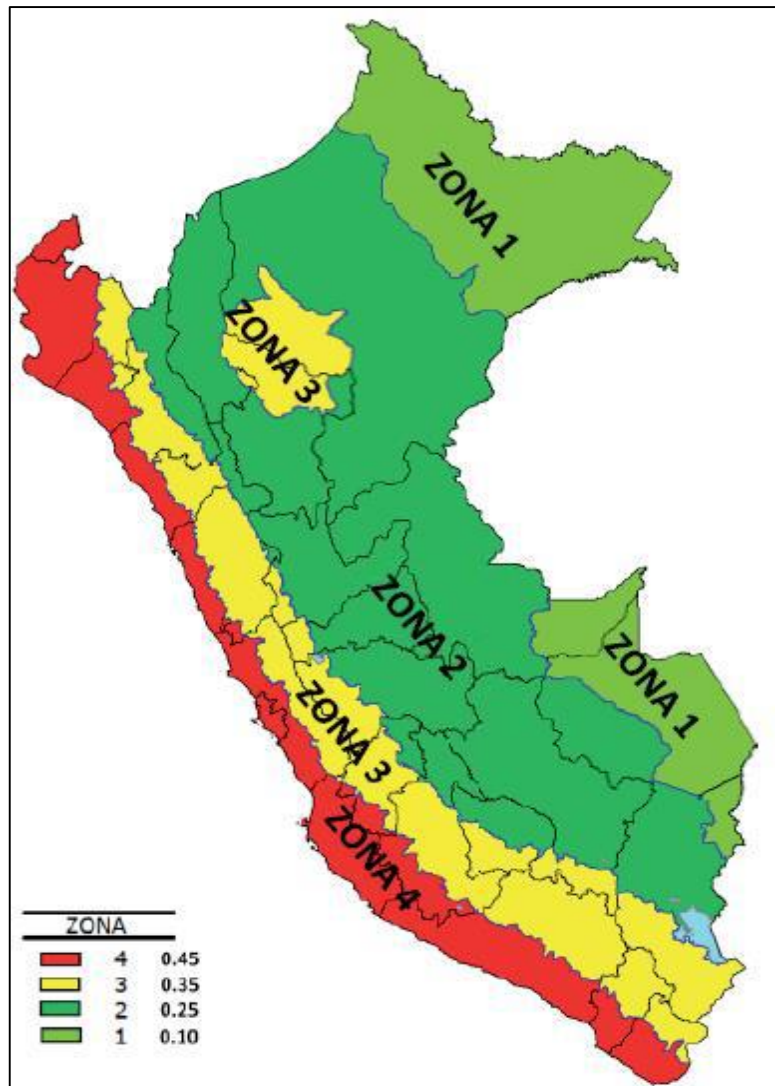
#### 4.3.7. Sismicidad

El Perú está ubicado sobre el borde occidental costero de Sudamérica entre Ecuador y Chile; ocupando un área de subducción activa de corteza oceánica bajo la margen Continental, esta actividad de subducción representa la principal causa de los sismos en el Perú. La subducción que se produce en la costa peruana se desarrolla a lo largo del límite de convergencia entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca, esta subducción presenta 2 tendencias claramente definidas. En la costa central y norte del Perú la subducción es del tipo sub horizontal y se produce con un ángulo promedio de 30° hasta una profundidad de 107 km y prosigue con un desplazamiento horizontal de 650 km de longitud. Por otro lado en la costa sur se desarrolla una subducción del tipo normal con un ángulo de aproximadamente 30° hasta una profundidad de alrededor de 250 km. El área de estudio se encuentra ubicado en la zona 3, según la Zonificación Sísmica del Perú correspondiente a la Norma E.030-2019.



**Figura 37: Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas**

FUENTE: Alva (1984)



**Figura 38: Mapa de Zonas Sísmicas**

*Nota:* Norma E0.30 - 2019

FUENTE: (Ministerio de vivienda, 2019)

#### 4.4. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS DE PERFORACIONES DIAMANTINAS

##### 4.4.1. Conocimientos previos

Dentro de la variedad de métodos de exploración del subsuelo, se encuentran los métodos no accesibles como son los sondeos y dentro de ellos las exploraciones mediante perforación diamantina.

Para realizar perforaciones diamantinas profundas con extracción de muestra, se debe contar con los siguientes equipos, materiales, accesorios y herramientas:

- Perforadora Diamantina
- Barras o Tuberías de Perforación



- Barras o Tuberías de Revestimiento (Casing)
- Muestreadores (Core Barel)
- Coronas de Perforación o Brocas
  - Brocas de Carburo de Tungsteno (Tipo Widia)
  - Brocas de Carburo de Tungsteno Triturado
  - Brocas con Diamantes.
    - a. Brocas con Diamantes Insertados.
    - b. Brocas con Diamantes Impregnados
- Zapatas de Revestimiento (Casing Shoes)
- Ensanchadores o Escariadores (Remer Shell)
- Bomba Impulsadora de Agua
- Cajas Portatestigo.

#### **4.4.1.1. Perforadora Diamantina**

Es un equipo de perforación usado en la actividad minera y de infraestructura, se basa en la erosión o el desgaste de las formaciones geológicas o rocas por fricción, como efecto inmediato de la rotación y presión de empuje a la que es sometida la broca o corona diamantada contra cada capa del terreno a estudiar. Este método de sondaje que realiza la perforadora es capaz de ofrecer a los ingenieros agrícolas, civiles, geólogos y demás ramas afines, más información para el descubrimiento, constatación, estudio y ubicación de los yacimientos minerales y/o proporcionar información de la estratigrafía del terreno.

Entre los equipos para perforación diamantina destacan:

- **MANCH (MAQUESONDA MOD.320)**, con motor petrolero de 6 cilindros Perkins, montada sobre esquíes. Se autopropulsa con su cable. Peso total 2390 kg.
- **JKS BOYLES MOD. BBS-37**, con motor petrolero de 6 cilindros Deutz, montada sobre esquíes. Se auto propulsa con cable. Peso total 2645 kg.
- **LONGYEAR LY38**, con motor petrolero de 6 cilindros Deutz/Cummins, montado sobre esquíe. Se auto Propulsa con su cable. Peso total 3000 kg.
- **LONGYEAR LY44**, con motor petrolero de 6 cilindros Deutz, montado sobre esquíe. Se auto Propulsa con su cable. Peso total 3000 kg.
- **EXPLORER 1500E**, con motor petrolero turbo diésel de 6 cilindros Deutz, de 160 HP, montada sobre ruedas. Se auto propulsa con su cable. Peso total 5000 kg.

- **LX6**, con motor diésel enfriado por aire Deutz D914LD4, montado sobre oruga, utilizada para método de perforación DTH, y con taladro. Peso total 6500 kg.
- **LF90D**, con motor diésel Cummins QSB6.7L, montada sobre oruga. Peso total 9500kg.
- BOART LONGYEAR METRE EATER, INGETROL EXPLORER PLUS, SANDVIK DE 130, DRILLCAT (AUTOTRANSPORTABLE), TECDRILL H-200, TECDRILL H-400, BOART LONGYEAR LM 75, SANDVIK DE 140, entre otros.



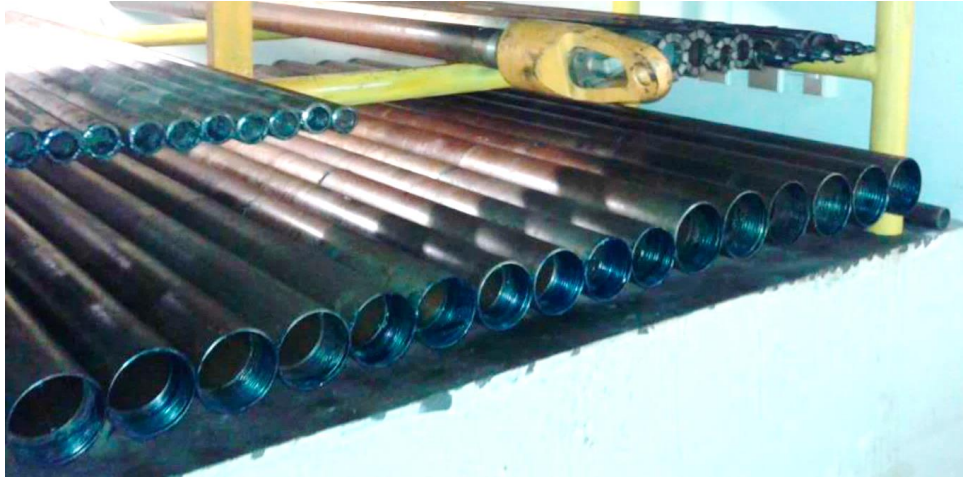
**Figura 39: Perforadora diamantina Longyear L44 y grupo técnico. Anka Eng S.A.C.**

*Nota:* Proyecto de represamiento de la laguna Chacclacocha. Proceso de traslado hacia el punto de perforación.

FUENTE: Elaboración propia.

#### **4.4.1.2. Barras o Tuberías de Perforación**

- Línea PQ con diámetro +/- 115 mm = 4.5”
- Línea HQ con diámetro +/- 100 mm = 3.95”
- Línea NQ con diámetro +/- 76 mm = 3”
- Línea BQ con diámetro +/- 51 mm = 2”
- Línea AQ con diámetro +/- 50 mm = 1.98”



**Figura 40: Tuberías de perforación**

FUENTE: Elaboración propia.

#### **4.4.1.3. Barras o Tuberías de Revestimiento (Casing)**

Si las paredes del sondeo o perforación no se sostienen solas, puede evitarse el derrumbamiento utilizando un tubo llamado casing, que es de mayor diámetro con respecto a la barra con la que se esta perforando.

- Línea PW con diámetro +/- 125 mm = 4.9"
- Línea HW con diámetro +/- 115 mm = 4.5"
- Línea NW con diámetro +/- 85 mm = 3.3"
- Línea BW con diámetro +/- 65 mm = 2.6"



**Figura 41: Tuberías de revestimiento**

FUENTE: Permanent Steel Manufacturing Company.  
<https://www.permanentsteel.com/es/m/>

#### 4.4.1.4. Muestreadores (Core Barel)

Este tubo es llamado tubo portatestigo, tubo testigo o comúnmente tubo sacatestigo, sus longitudes varían de 0.60 mt. A 3.00 mt. y los diámetros se corresponden con los de las coronas a ser empleadas. Su función es de que al ir avanzando en el terreno va obteniendo una barra cilíndrica llamada testigo la cual va entrando en un tubo enroscado o tubo interior a continuación de la broca.



**Figura 42: Tubo portatestigo**

FUENTE: Vilong. <https://www.rotarypercussivedrill.com/Products/Core-barrel.html>

#### 4.4.1.5. Coronas de Perforación o Brocas

Es el elemento cortante ubicado al frente de la perforación, mediante el cual se profundiza la sonda. Su función es cortar la roca o avanzar en material suelto. Según su diseño le da estabilidad al tren reduciendo sus vibraciones, es por esto importante usar siempre brocas adecuadas dependiendo del tipo de suelo a perforar.

También tiene la característica de que conforme avanza la perforación se talla una muestra de forma cilíndrica que se aloja en un muestreador (portatestigos) inmediatamente detrás de la corona. Los diamantes utilizados para hacer las coronas varían en calidad y tamaño, al igual que la matriz que los soporta. La elección de un determinado tipo de broca dependerá de la dureza, la abrasividad, el grado de fractura y el tipo de roca a perforar.



**Figura 43: Coronas de Longyear**

FUENTE: Boart Longyear. <https://www.boartlongyear.com/es/product/longyear-bits/>

#### 4.4.1.6. Ensanchadores o Escariadores (Remer Shell)

Su función es mantener el diámetro del orificio correcto a lo largo de la broca sin dañarla, también la de estabilizar la columna de perforación, protegiendo así el extremo inferior del muestreador del desgaste excesivo. Se recomienda para perforar en formaciones duras y sólidas.



**Figura 44: Ensanchadores o Escariadores**

*Nota:* Diseñado para funcionar en conjunción con una broca, aumentar el diámetro del orificio y estabilizar núcleo.

FUENTE: ETW cloud. <https://mx.etwinternational.com/>

#### 4.4.1.7. Zapatas de Revestimiento (Casing Shoes)

Estas zapatas se usan para perforar o para introducir los tubos o barras de revestimiento a la profundidad deseada.



Tamaño	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	Pulg.	mm	Pulg.	mm
AW*	2.350 / 2.340	59.69 / 59.44	1.902 / 1.897	48.31 / 48.18
BW	2.970 / 2.960	75.44 / 75.19	2.377 / 2.367	60.38 / 60.12
NW*	3.620 / 3.610	91.95 / 91.70	2.997 / 2.987	76.12 / 75.87
HW** CDDA	4.632 / 4.617	117.65 / 117.27	3.930 / 3.920	99.82 / 99.57
HW* DCDMA	4.632 / 4.617	117.65 / 117.27	3.980 / 3.970	101.09 / 100.84
HWT	4.632 / 4.617	117.65 / 117.27	3.930 / 3.920	99.82 / 99.57
PW**	5.660 / 5.640	143.76 / 143.26	4.865 / 4.850	123.57 / 123.19
PWT	5.660 / 5.640	143.76 / 143.26	4.865 / 4.850	123.57 / 123.19
SW*	6.800 / 6.780	172.72 / 172.21	5.948 / 5.933	151.08 / 150.70

**Figura 45: Zapatas de Revestimiento**

FUENTE: Guizhou Vilong Equipment Co.,Ltd. [https://gvdrill.com/c\\_html\\_products/zapatas-17.html](https://gvdrill.com/c_html_products/zapatas-17.html)

#### 4.4.1.8. Bomba Impulsadora de Agua

El equipo es utilizado cuando se realicen perforaciones en zonas de difícil acceso y se tenga que impulsar agua de alguna laguna o riachuelo existentes en el proyecto. El agua cumple dos funciones: refrigerar la broca y expulsar el detritus.



**Figura 46: Bomba impulsora de agua provee a perforadora diamantina Longyear L44. Anka Eng S.A.C.**

*Nota:* Se hace uso del agua de la laguna Chacellacochoa para el proceso de perforación.

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4.1.9. Cajas Portatestigo

Es una caja de fabricación sencilla, de polímeros, madera y/o triplay, las dimensiones pueden variar según el tipo de línea de perforación a utilizar, suele ser de tamaño rectangular, variando en longitud de 1 a 2 metros y en anchura de 0,30 a 0,50 metros con una profundidades de 0,10 en promedio.



**Figura 47: Caja portatestigo de plástico. Anka Eng S.A.C.**

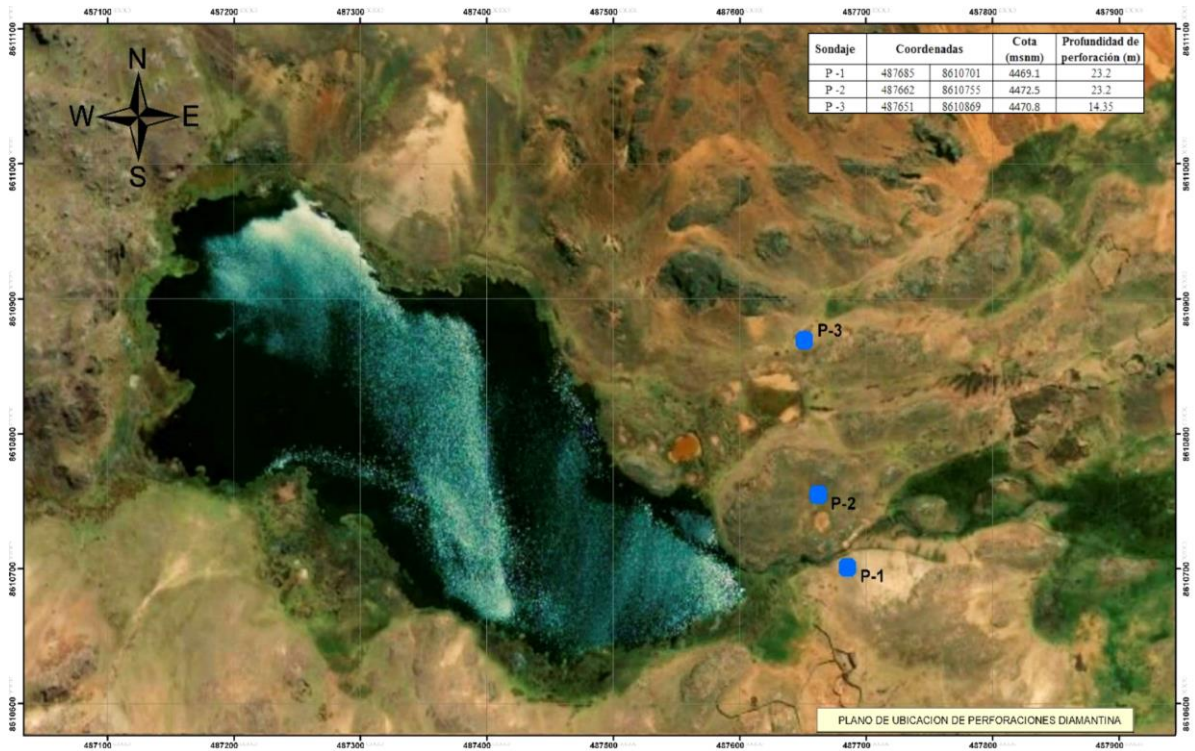
*Nota:* Proyecto de represamiento de la laguna Chacllacocha

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Ubicación de los puntos de perforación

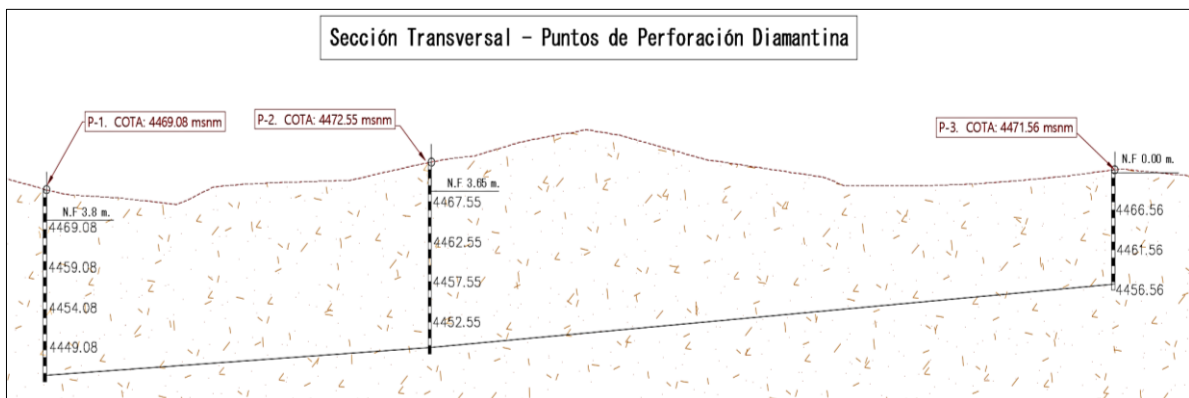
Los puntos de perforación se definieron teniendo como base el estudio geofísico. Dichos puntos se encuentran ubicados en el eje de emplazamiento definido para la construcción de la presa.

El presente monografía contiene los resultados de los trabajos de perforación diamantina (HW, HQ) con recuperación de testigos y los ensayos insitu, para el proyecto de irrigación del distrito de Laria, laguna Chaclacocha, provincia de Huancavelica, departamento de Huancavelica, Perú.



**Figura 48: Ubicación de puntos de perforación**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 49: Sección trasnversal de los puntos de perforación**

FUENTE: Elaboración propia.

### 4.4.3. Trabajos de Campo

#### 4.4.3.1. Sondajes

Se ejecutaron 03 sondajes (perforación diamantina) de acuerdo a la siguiente tabla.



**Tabla 17: Determinación de puntos para sondaje**

Sondaje	Coordenadas UTM – WGS 84 (m)		Profundidad (m)
P -1	487685	8610701	23.2
P -2	487662	8610755	23.2
P -3	487651	8610869	14.35

FUENTE: Elaboración propia.

El fluido de perforación que se utilizó fue agua limpia, no se introdujo ningún aditivo.

El método utilizado en los sondajes fue el rotativo con recuperación continua de testigos, que consiste en atravesar los materiales cortándolos por medio de la acción giratoria de una broca de diamantes a alta velocidad y a presiones adecuadas para el tipo de suelo o roca.

Durante la perforación de los materiales sueltos se utilizó revestimiento o casing (HW) para evitar derrumbes de la pared del sondeo.

El registró de nivel freático, color del agua, capacidad de infiltración de suelos y rocas, además de la descripción de las características de los suelos encontrados, porcentajes de recuperación de testigos y calidad de la roca (RQD) son indicados en los registros de perforación.

**Tabla 18: Resumen de los sondeos**

Sondajes	Área de trabajo	Cota (m.s.n.m)	Profundidad ejecutada	Inclinación del Sondeo	Nivel freático	Número de cajas
<b>P - 1</b>	E. Derecho	4469.10	23.20	90°	3.80	6
<b>P - 2</b>	Centro	4472.50	23.20	90°	3.65	6
<b>P - 3</b>	E. Izquierdo	4470.80	14.35	90°	0.00	4

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 19: Línea de perforación**

Sondajes	Línea	Área de trabajo	Tramo (m)	Observación
<b>P - 1</b>	HQ	E. Derecho	0.00 - 23.20	perforado
<b>P - 2</b>	HQ	Centro	0.00 - 23.20	perforado
<b>P - 3</b>	HQ	E. Izquierdo	0.00 - 14.35	perforado

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4.3.2. Recuperación de testigos

La recuperación de los suelos y rocas encontrados fue la más completa y continua posible, a continuación se resume el porcentaje de recuperación por tramo de perforación en cada uno de los sondajes:

**Tabla 20: Recuperación de testigos P-1**

SONDAJE	PROFUNDIDAD (m)	% RECUPERACIÓN
P - 1	0.00 - 0.70	100.0
	0.70 - 1.30	100.0
	1.30 - 2.90	93.8
	2.90 - 4.50	93.8
	4.50 - 5.90	87.5
	5.90 - 7.50	100.0
	7.50 - 8.90	92.9
	8.90 - 10.50	87.5
	10.50 - 11.00	100.0
	11.00 - 12.20	91.7
	12.20 - 13.80	100.0
	13.80 - 15.10	100.0
	15.10 - 16.60	73.3
	16.60 - 18.20	100.0
	18.20 - 19.80	78.1
	19.80 - 20.60	75.0
20.60 - 22.20	100.0	
22.20 - 23.20	100.0	

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 21: Recuperación de testigos P-2**

SONDAJE	PROFUNDIDAD (m)	% RECUPERACIÓN
P - 2	0.00 - 0.50	100.0
	0.50 - 1.00	100.0
	1.00 - 1.60	100.0
	1.60 - 3.20	100.0
	3.20 - 4.70	100.0
	4.70 - 6.30	100.0
	6.30 - 7.30	100.0
	7.30 - 8.90	100.0
	8.90 - 10.30	100.0
	10.30 - 11.90	100.0
	11.90 - 13.10	95.8
	13.10 - 14.70	100.0
	14.70 - 15.50	100.0
	15.50 - 17.10	100.0
	17.10 - 18.30	100.0
	18.30 - 19.55	73.8
19.55 - 21.00	86.2	
21.00 - 22.60	90.6	
22.60 - 23.20	66.7	

FUENTE: Elaboración propia.

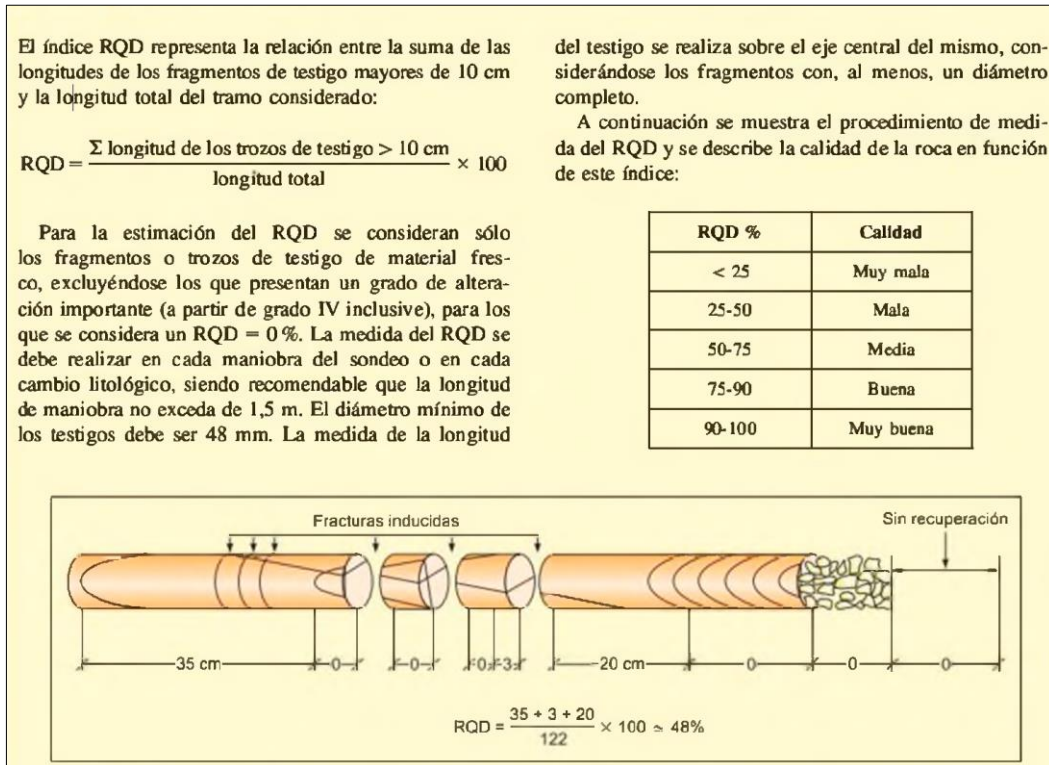
**Tabla 22: Recuperación de testigos P-3**

SONDAJE	PROFUNDIDAD (m)	% RECUPERACIÓN
P-3	0.00 - 0.60	100
	0.60 - 1.10	80
	1.10 - 2.10	75
	2.10 - 3.70	100
	3.70 - 5.30	100
	5.30 - 6.90	100
	6.90 - 8.50	100
	8.50 - 9.75	100
	9.75 - 11.15	100
	11.15 - 12.75	100
	12.75 - 14.35	100

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4.3.3. Calidad de la roca (RQD)

Este índice, expresado como tanto por ciento, se obtuvo como el cociente de la longitud total del testigo, considerando solamente aquellas partes del mismo de al menos diez centímetros de longitud, y la longitud de perforación en cada maniobra.



**Figura 50: Procedimiento para el cálculo del RQD.**

FUENTE: (González de Vallejo y otros, 2004, p. 326)

**Tabla 23: Calidad de la roca en función al índice RQD**

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

FUENTE: (González de Vallejo y otros, 2004, p. 134)

A continuación se muestra el valor de RQD de los puntos de perforación (P-1, P-2 y P-3)

**Tabla 24: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-1)**

<b>SONDAJE</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>MUESTRA (m)</b>	<b>% RQD</b>
<b>P - 1</b>	0.00 - 0.70	0.70	-
	0.70 - 1.30	0.60	-
	1.30 - 2.90	1.50	27.5
	2.90 - 4.50	1.50	16.5
	4.50 - 5.90	1.40	15.7
	5.90 - 7.50	1.60	85
	7.50 - 8.90	1.30	-
	8.90 - 10.50	1.40	-
	10.50 - 11.00	0.50	-
	11.00 - 12.20	1.10	-
	12.20 - 13.80	1.60	-
	13.80 - 15.10	1.30	9
	15.10 - 16.60	1.10	10.6
	16.60 - 18.20	1.60	-
	18.20 - 19.80	1.25	-
	19.80 - 20.60	0.60	-
	20.60 - 22.20	1.60	42.5
22.20 - 23.20	1.00	25	

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 25: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-2)**

SONDAJE	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA (m)	% RQD
<b>P-2</b>	0.00 - 0.50	0.50	-
	0.50 - 1.00	0.50	-
	1.00 - 1.60	0.60	-
	1.60 - 3.20	1.60	-
	3.20 - 4.70	1.50	22
	4.70 - 6.30	1.60	21.8
	6.30 - 7.30	1.00	-
	7.30 - 8.90	1.60	31.8
	8.90 - 10.30	1.40	14.8
	10.30 - 11.90	1.60	25
	11.90 - 13.10	1.15	8.3
	13.10 - 14.70	1.60	22.5
	14.70 - 15.50	0.80	-
	15.50 - 17.10	1.60	21.8
	17.10 - 18.30	1.20	15.3
	18.30 - 19.55	0.90	-
	19.55 - 21.00	1.25	20.6
	21.00 - 22.60	1.45	12.5
22.60 - 23.20	0.40	-	

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 26: Cuadro: Calidad de la roca en función al índice RQD (P-3)**

	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA (m)	% RQD
<b>P-3</b>	0.00 - 0.60	0.60	-
	0.60 - 1.10	0.40	-
	1.10 - 2.10	0.75	-
	2.10 - 3.70	1.60	50.5
	3.70 - 5.30	1.60	61.3
	5.30 - 6.90	1.60	43.7
	6.90 - 8.50	1.60	81.1
	8.50 - 9.75	1.25	8
	9.75 - 11.15	1.40	27.1
	11.15 - 12.75	1.60	16.25
	12.75 - 14.35	1.60	46.2

FUENTE: Elaboración propia.

## **4.5. DESARROLLO DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD**

### **4.5.1. Conocimientos previos**

#### **4.5.1.1. Ensayo de Lugeon**

Ensayo a efectuar en terreno rocoso con la finalidad de determinar una de las características de mayor variabilidad dentro de la misma formación rocosa, que es la permeabilidad.

El ensayo se efectúa en el interior del sondeo, y tiene la utilidad de calcular el coeficiente de permeabilidad en profundidad. Su aplicación es muy útil para valorar la permeabilidad global de un macizo rocoso, por ello se lo usa en terrenos poco permeables y cohesivos.

El tramo donde se va a realizar el procedimiento se aísla mediante un obturador superior y es el fondo del sondeo que actúa como obturador inferior.

El ensayo consiste básicamente en inyectar agua a una presión constante de 1 MPa (10 kp/cm<sup>2</sup>) en un tramo obturando de sondeo durante 10 minutos, normalmente se ensayan tramos de 5 m los cuales se aíslan del resto de la perforación mediante los obturadores. Durante el transcurso del ensayo se va midiendo la admisión de agua. La presión se va aplicando en escalones de carga y descarga de 0, 1, 2, 5 y 10 kp/cm<sup>2</sup> y en cada escalón debe mantenerse la presión 10 minutos debiendo alcanzarse siempre la presión de 10 kp/cm<sup>2</sup> salvo en rocas blandas o superficiales en las que podría producirse la fracturación hidráulica.

La permeabilidad obtenida se expresa en unidades Lugeon (Lg). La unidad Lugeon vale 1 litro por minuto y metro, bajo una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> ; ésto equivale aproximadamente  $1 \times 10^{-7}$  m/s (Geotécnia Fácil, s.f.). Información visual en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=9dti1FqYAu0>

#### **4.5.1.2. Ensayo de Lefranc**

Es un tipo de ensayo in situ que permite determinar la permeabilidad de los suelos en el interior de sondeos, ya sea durante la ejecución del mismo o una vez finalizada la perforación.

El ensayo de Lefranc se utiliza en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular (arenas, gravas, coluviales, limos), situados por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas (Geotécnia Fácil, s.f.).

Procedimiento:

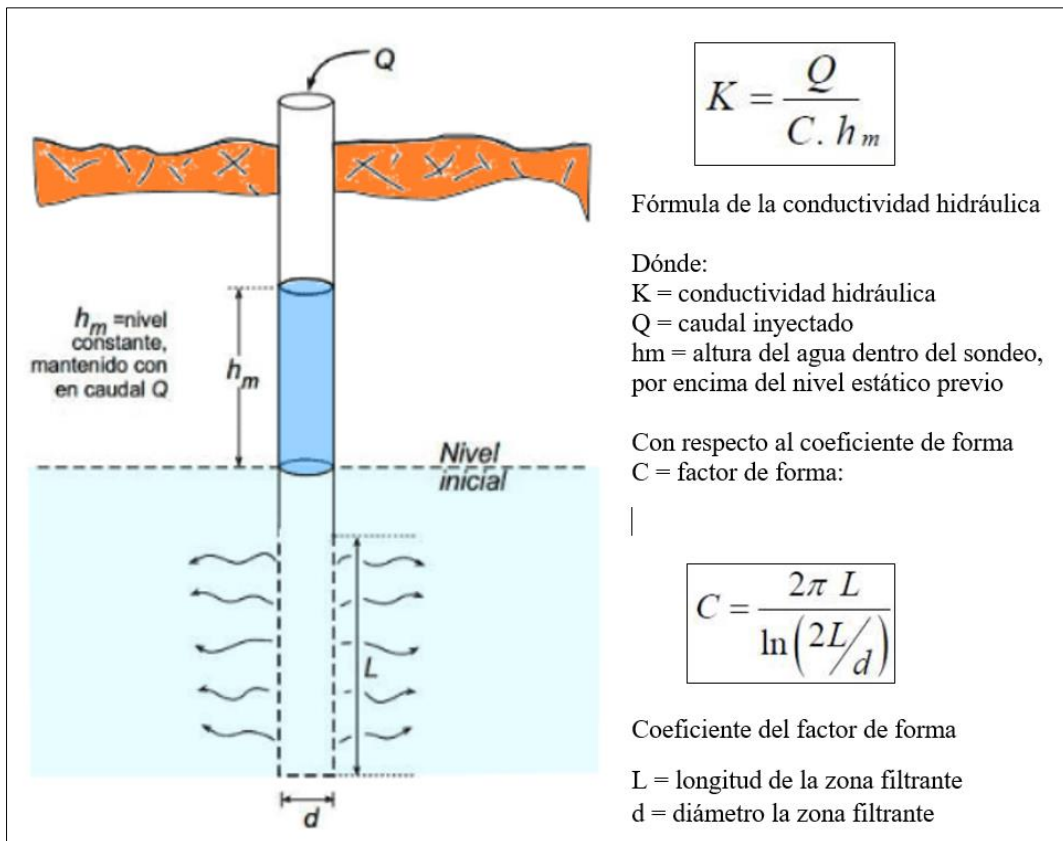
1. Se realiza la limpieza del fondo del sondeo (perforación) y se desinstala la batería de perforación.
2. Se debe llenar el sondeo con agua hasta el tope logrando que todo el aire sea expulsado.
3. Esperamos a que se establezca el nivel y la velocidad del descenso del agua.
4. Se procede a la medición del nivel freático, importante para posteriores cálculos

- **Ensayo Lefranc a carga constante (régimen permanente)**

Antes que nada se debe saturar primero el suelo hasta que el aire de los vacíos sea expulsado y con esto lograr que haya una infiltración más uniforme en el suelo, todo esto para que se pueda introducir un caudal conocido de manera que se mantenga un nivel constante dentro de la perforación.

El ensayo Lefranc a régimen permanente consiste en llenar el sondeo con agua hasta el tope y tomar mediciones del caudal necesario para mantener el nivel de agua constante. Las mediciones de caudal se realizan cada 5 minutos, durante 45 minutos, si se nota que la permeabilidad es muy alta, el caudal deberá medirse cada minuto durante 20 minutos y luego se procede a ejecutar las medidas cada 5 minutos hasta llegar a los 45 minutos necesarios. Cuando se estabiliza este proceso, con la medida conocida del caudal introducido, la longitud y el diámetro de la perforación, es posible calcular la permeabilidad de dicho suelo (Geotécnia Fácil, s.f.).





**Figura 51: Ensayo lefranc a carga constante.**

FUENTE: (Geologíaweb, s.f.). <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/ensayo-lefranc/>

- **Valores de permeabilidad de suelos**

A continuación, y para que sirva como orden de magnitud de los tests Lefranc, se presentan distintos valores de permeabilidad para los suelos más comunes según la clasificación USCS.

**Tabla 27: Valores de permeabilidad de distintos tipos de suelos. (Powers, 1992)**

Tipo de suelo	K (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2 – 1
Grava bien graduada (GW)	0,05 – 0,3
Arena uniforme (SP)	5×(10 <sup>-3</sup> ) – 0,2
Arena bien graduada (SW)	(10 <sup>-3</sup> ) – 0,1
Arena limosa (SM)	(10 <sup>-3</sup> ) – 5×(10 <sup>-3</sup> )
Arena arcillosa (SC)	(10 <sup>-3</sup> ) – (10 <sup>-4</sup> )
Limo de baja plasticidad (ML)	5×(10 <sup>-5</sup> )-(10 <sup>-4</sup> )
Arcillas de baja plasticidad (CL)	(10 <sup>-5</sup> ) – (10 <sup>-8</sup> )

FUENTE: (Geotécnia Fácil, s.f.)

#### 4.5.2. Ejecución de los ensayos

Se ejecutaron 10 ensayos para determinar el flujo de agua en distinta profundidad en los tres puntos de perforación. Los ensayos de lugeon no se realizaron debido a que la roca presenta fisuras y fracturas considerables, se desarrollaron pruebas de lefranc con carga constante para estimar la permeabilidad considerando al material como suelo debido a que presentan fracturas.

En el punto de perforación P-1 se determinó las pérdidas de caudal en roca fracturada a las profundidades de 10.00, 20.60 y 23.20 m.

En el punto de perforación P-2 se determinó las pérdidas de caudal en roca fracturada, a las profundidades de 5.00, 10.00, 15.00, 20.00 y 23.00 m.

El punto de perforación P-3 presenta características de un acuífero artesiano el cual genera subpresiones sobre las capas superiores del suelo, por la presencia de la carga hidráulica de la laguna, ejerciendo presiones hidrostáticas bajas de aproximadamente  $0.08 \text{ kg/cm}^2$ . En dicho punto se determinó el caudal ascendente a las profundidades de 5.00 y 10.00 metros. En el siguiente cuadro se muestra los valores de permeabilidad a distinta profundidad en los puntos de perforación P-1 y P-2

**Tabla 28: Valores de permeabilidad**

Punto de perforación	Profundidad (m)	Permeabilidad (cm/s)
P-1	10	2.12E-02
P-1	20.6	7.86E-02
P-1	23.2	8.20E-04
P-2	5	1.83E-02
P-2	10	2.00E-03
P-2	15	1.71E-03
P-2	20	2.36E-03
P-2	23	4.34E-03
P-3	5	-
P-3	10	-

FUENTE: Elaboración propia.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- El tipo de suelo y roca del área de trabajo corresponde en general a rocas tipo andesita (y suelos derivados de ella), siendo un tipo de roca aceptable para la construcción de los embalses, siguiendo el protocolo correspondiente de construcción de acuerdo a la calidad de la roca encontrada.
- De acuerdo a los ensayos de refracción sísmica, no se ha reconocido un estrato geosísmico de roca firme, pero si un estrato de roca poco alterada para la LS-01 de 29 a 40 metros de profundidad.
- De acuerdo a los ensayos MASW la profundidad a la que se encuentra roca dura o de buena calidad es a los 18 metros de profundidad.
- El área de trabajo se ubica en la zona sísmica 3, según el mapa de zonas sísmicas de la Norma E.030-2019
- El porcentaje de recuperación de las muestras es de 90 % en los tres puntos de perforación (P-1, P-2 y P-3)
- El porcentaje del RQD en los puntos de perforación 1, 2 y 3 en su mayoría es de calidad muy mala a mala debido a su alto fracturamiento.
- El flujo de agua en el punto de perforación P-1 a la profundidad de 10.00 m como máximo es 0.833 l/s y como mínimo 0.733 l/s, a la profundidad de 20.60 m el flujo de agua como máximo es 5.817 l/s y como mínimo 3.783 l/s y a la profundidad de 23.20 m el flujo de agua es como máximo es 4.233 l/s y como mínimo 3.917 l/s.
- El flujo de agua en el punto de perforación P-2 a la profundidad de 5.00 m como máximo es 0.833 l/s y como mínimo 0.717 l/s, a la profundidad de 10.00 m el flujo de agua como máximo es 0.83 l/s y como mínimo 0.10 l/s, a la profundidad de 15.00 m el flujo de agua como máximo es 0.117 l/s y como mínimo 0.067l/s, a la profundidad de 20.00 m el flujo de agua como máximo es 0.133 l/s y como mínimo 0.837l/s, a la profundidad de 23.00 m el flujo de agua como máximo es 0.283 l/s y como mínimo 0.133 l/s.

- En el punto de perforación P-1 el valor de la permeabilidad a la profundidad de 10 metros es  $2.12E-02$  cm/s, a la profundidad de 20.6 metros es  $7.86E-02$  cm/s y la profundidad de 23.20 metros es  $8.20E-04$  cm/s.
- En el punto de perforación P-2 el valor de la permeabilidad a la profundidad de 5 metros es  $1.83E-02$  cm/s, a la profundidad de 10 metros es  $2.00E-03$  cm/s, a la profundidad de 15 metros es  $1.71E-03$  cm/s, a la profundidad de 20 metros es  $2.36E-03$  y a la profundidad de 23 metros  $4.34E-03$  cm/s.
- En el punto de perforación P-3 el flujo de agua es ascendente debido a que existe carga hidráulica de la laguna a dicho punto y por las características que presenta la roca (fracturas y fisuras), el flujo de agua en este punto a la profundidad de 5.00 m es como máximo 0.018 l/s y como mínimo 0.0036 l/s y a la profundidad de 10.00 m. el flujo de agua como máximo es 0.004 l/s y como mínimo 0.0016 l/s.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un mapeo geológico a detalle con fines de apreciar el potencial metálico o no metálico que podrían presentar los materiales de la zona de trabajo.
- Se recomienda hacer un par de perforaciones en el vaso de la presa para determinar el tipo de suelo que lo conforman y también ejecutar los ensayos de permeabilidad para determinar la cantidad de agua que se perdería por infiltración.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Geotechnical Consulting. (s.f.). Obtenido de Refraccion. Recuperado el 20 de marzo del 2022. <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/refraccion-sismica/>
- Bureau of reclamation. (2007). *Diseño de pequeñas presas* (3 ed.). (E. Martínez Marín, P. Batanero Akerman, I. Martínez González, E. Martínez Olmos, & E. González Ordóñez, Trads.) España: Bellisco. Recuperado el 20 de marzo de 2022
- Geologíaweb. (s.f.). <https://geologiaweb.com/>.
- Geotécnia Fácil. (s.f.). <https://geotecniafacil.com/>.
- Gonzáles de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Pearson Hall.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*.
- López, A. (2016). *Evaluación Geofísica Geotécnica del proyecto central hidroeléctrica chilia, región Huanuco-Ancash*. Arequipa. Obtenido de Repositorio de la Universidad de San Agustín de Arequipa <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2535>
- Marcacuzco, J. A. (2012). *Hidrología Aplicada*. Lima: Q & P Impresores S.R.L.
- Minem. (s.f.). *Cuenca del alto huallaga*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/huallaga/huallaga3.pdf>
- Ministerio de vivienda, c. y. (2019). *Norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Recuperado el 20 de marzo de 2022
- Park, C., Miller, R., & Xia, J. (1999). *Multi-channel analysis of surface waves*. *Geophysics*.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). *Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods*. Kansas geological survey, Lawrence, USA.
- Prialé Jaime, A. (1989). *Mecánica de suelos y ciencias afines aplicadas a obras hidráulicas*. Centro de Desarrollo Profesional en Ingeniería - CIP.
- Sauter, F. (1989). *Fundamentos de ingeniería sísmica I. Introducción a la sismología*.

- Suárez, L. (2017). *Optimización de parámetros para la adquisición de datos medidos in situ por medio del método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) (Tesis para titulación)*. Universidad Técnica Federico Santa María. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad técnica Federico Santa María <http://hdl.handle.net/11673/23575>
- Velásquez Bejarano, T. O. (2014). *Diseño de presas de tierra y enrocado en el Perú - Historia, perspectiva y tendencias*. Lima, Perú: UNALM. Recuperado el 20 de marzo de 2022
- Woods, R. D. (1968). *Screening of Surface Waves in Soils. The university of Michigan. industry program of the college of engineering.*

## **VII. ANEXOS**

## ANEXO 1: ALBUM FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS GEOFÍSICOS



**Figura 52: Punto inicial para la realización del ensayo de refracción sísmica 01**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 53: Tendido de geófonos para el ensayo de refracción sísmica 01**

*Nota:* Medición con cinta métrica del espaciamiento entre geófonos.

FUENTE: Elaboración propia.





**Figura 54: Registro del ensayo MASW 02.**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 55: Línea sísmica 03**

*Nota:* Registro del ensayo Masw 03.

FUENTE: Elaboración propia.

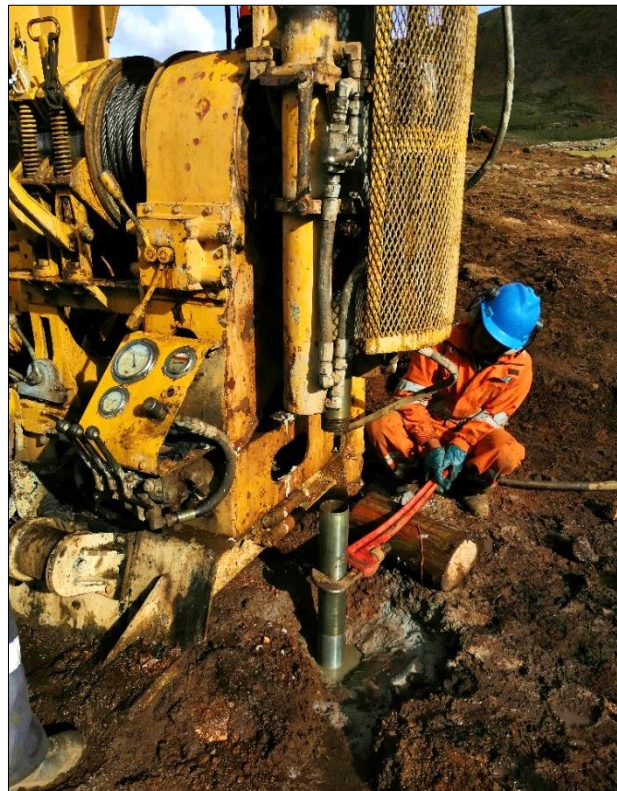
## ANEXO 2: ALBUM FOTOGRÁFICO DE LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA



**Figura 56: Punto de perforación P1**

*Nota:* Grupo técnico. Anka Eng S.A.C.

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 57: Punto de perforación P1. Proceso de acople de barras**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 58: Punto de perforación P1**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 59: Punto de perforación P1. Colocando las muestras en caja porta testigo**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 60: Punto de perforación P2.**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 61: Punto de perforación P2.**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 62: Punto de perforación P3**

FUENTE: Elaboración propia.

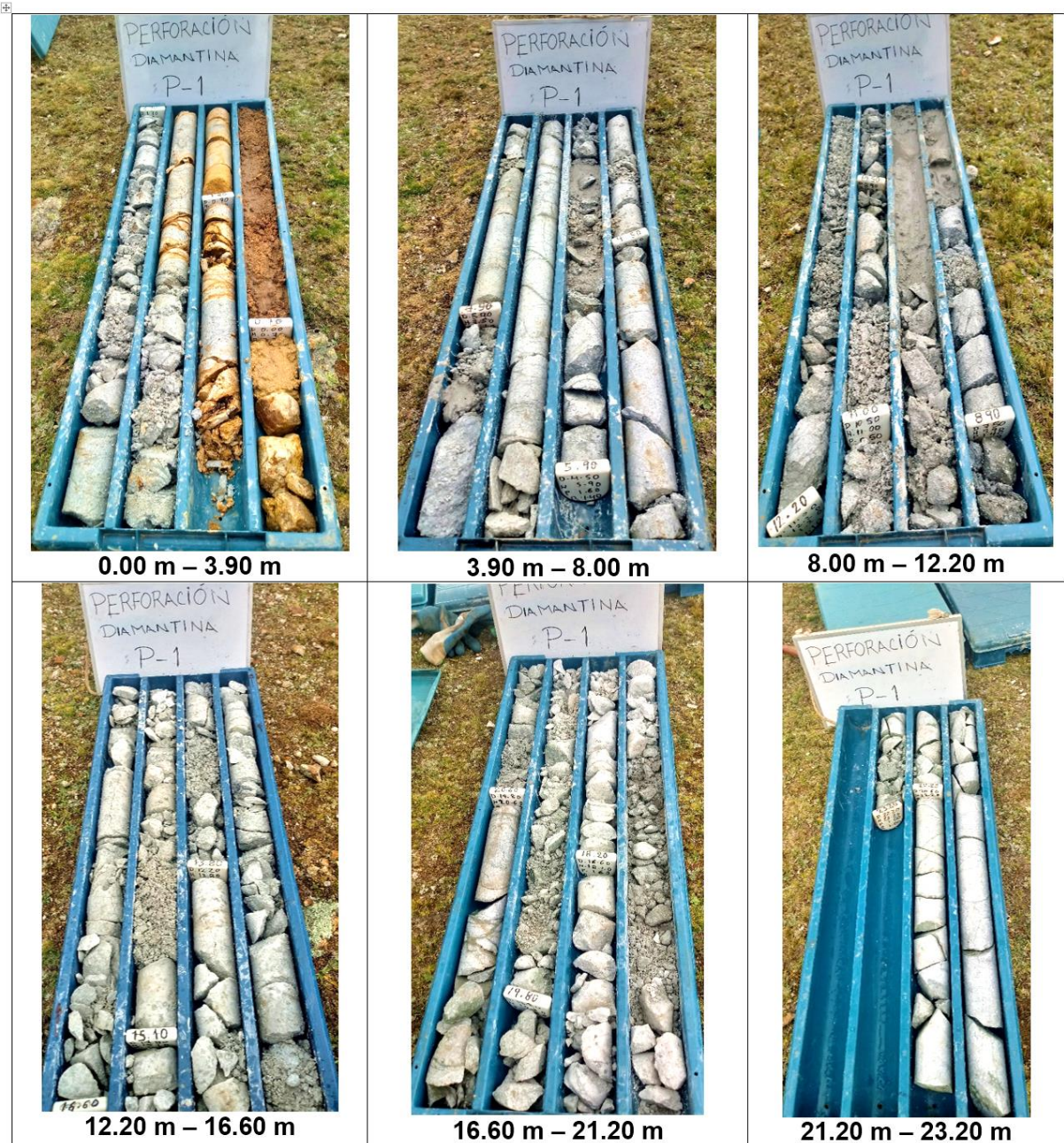


**Figura 63: Punto de perforación P3**

FUENTE: Elaboración propia.

## ANEXO 3: ALBUM FOTOGRÁFICO DE LAS MUESTRAS DIAMANTINAS

### Muestras Perforación Diamantina P-1



**Figura 64:** Punto de perforación P-1. Muestreo de primeros 23.20 metros del subsuelo.

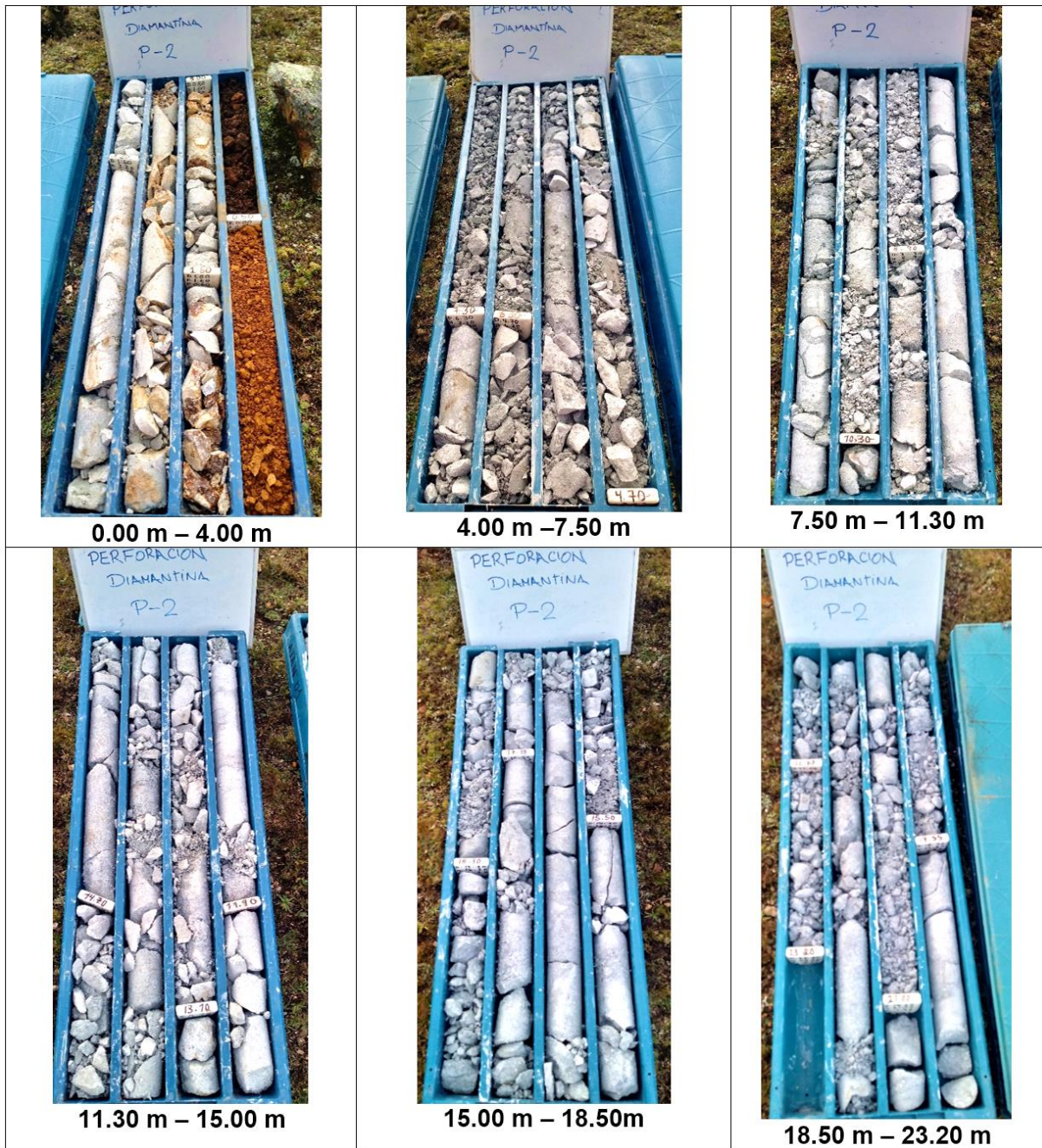
FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 65: Punto de perforación P-1.**

FUENTE: Elaboración propia.

### Muestras Perforación Diamantina P-2



**Figura 66: Punto de perforación P-2. Muestreo de primeros 23.20 metros del subsuelo**

FUENTE: Elaboración propia.





**Figura 67: Punto de perforación P-2**

FUENTE: Elaboración propia.

### Muestras Perforación Diamantina P-3



**Figura 68: Punto de perforación P-3. Muestreo de primeros 14.35 metros del subsuelo**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 69: Punto de perforación P-3.**

FUENTE: Elaboración propia.

## ANEXO 4: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

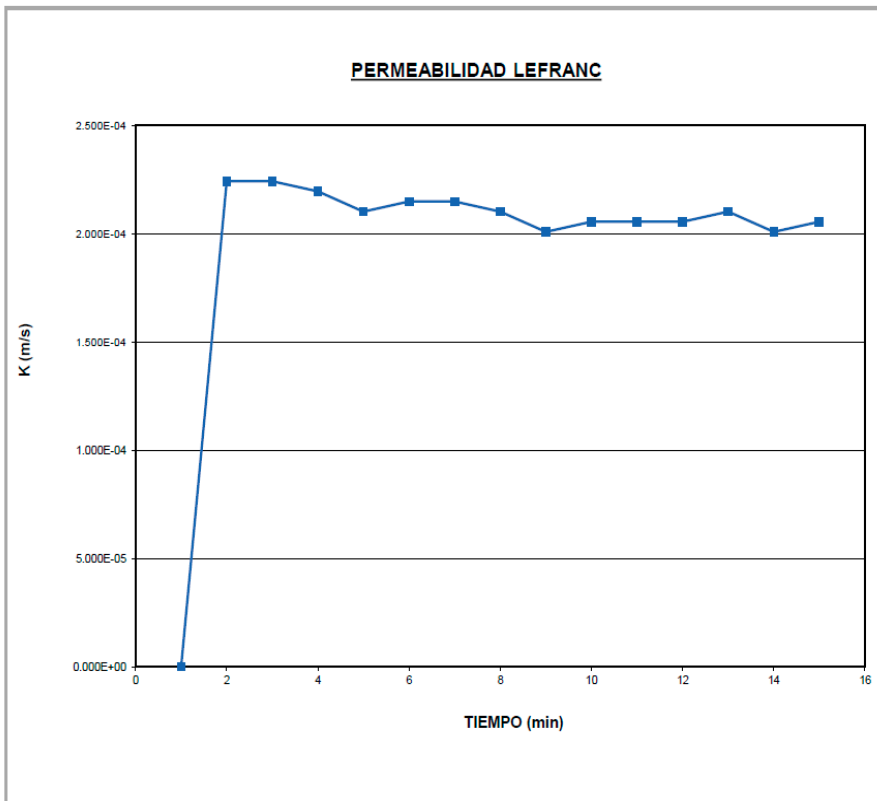
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA  
**POZO:** P-1  
**PROFUNDIDAD (m):** 10.00 m

### ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	10.00	m	1,000	cm
Fondo entubación (E)	9.50	m	950	cm
Longitud perforación (L)	9.90	m	990	cm
Nivel freático (F)	2.50	m	250	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	682.0	l	682,000	cm <sup>3</sup>
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			750	cm
Longitud tramo de llenado (H)			290	cm
Caudal (Q) =	7.6E-01	l/s	757.7778	cm <sup>3</sup> /s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm <sup>3</sup> /s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	50.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	48.0	800.000	2.242E-02	2.242E-04
3	60	48.0	800.000	2.242E-02	2.242E-04
4	60	47.0	783.333	2.196E-02	2.196E-04
5	60	45.0	750.000	2.102E-02	2.102E-04
6	60	46.0	766.667	2.149E-02	2.149E-04
7	60	46.0	766.667	2.149E-02	2.149E-04
8	60	45.0	750.000	2.102E-02	2.102E-04
9	60	43.0	716.667	2.009E-02	2.009E-04
10	60	44.0	733.333	2.055E-02	2.055E-04
11	60	44.0	733.333	2.055E-02	2.055E-04
12	60	44.0	733.333	2.055E-02	2.055E-04
13	60	45.0	750.000	2.102E-02	2.102E-04
14	60	43.0	716.667	2.009E-02	2.009E-04
15	60	44.0	733.333	2.055E-02	2.055E-04
V. TOTAL ADMITIDO		682.0			

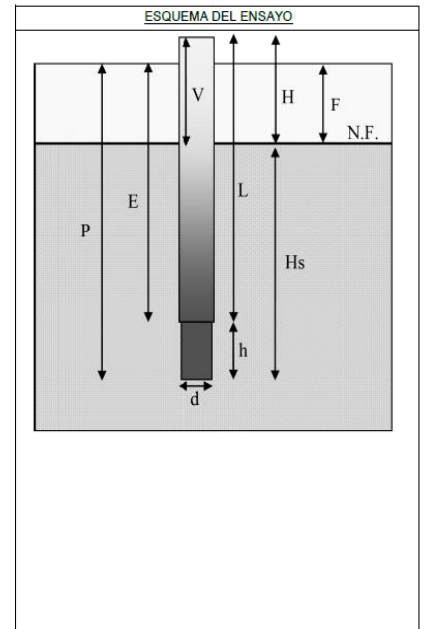
Permeabilidad (K)	2.124E-02 cm/s	2.124E-04 m/s
-------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; \quad m = \frac{Ln \left( \frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia

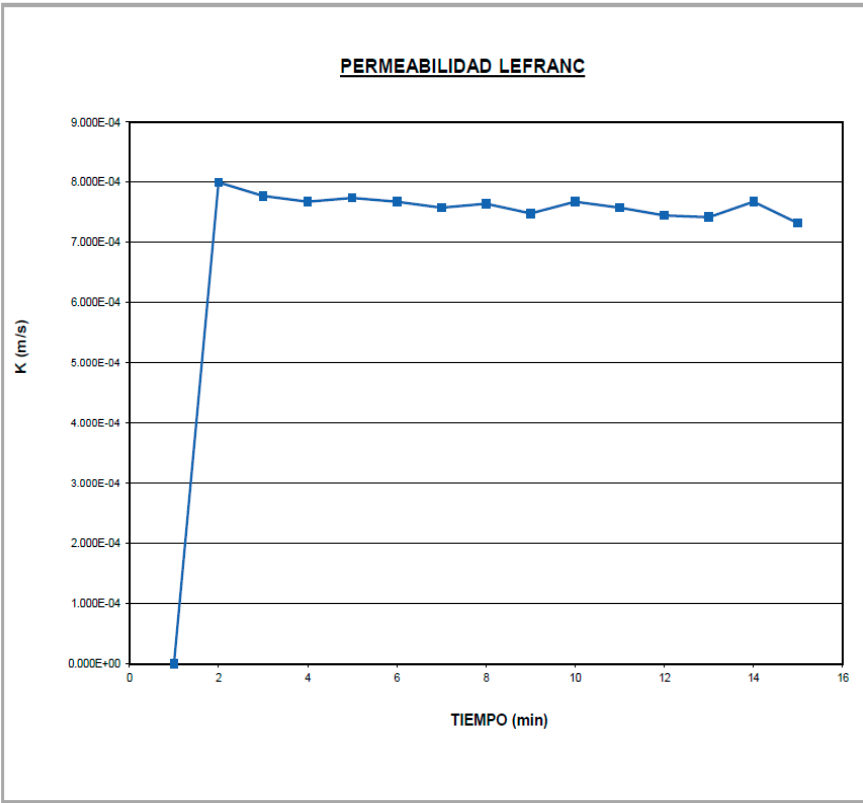
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-1  
**PROFUNDIDAD (m):** 20.60 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	20.60	m	2,060	cm
Fondo entubación (E)	20.10	m	2,010	cm
Longitud perforación (L)	20.50	m	2,050	cm
Nivel freático (F)	3.80	m	380	cm
Díametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	3657.0	l	3,657,000	cm <sup>3</sup>
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			1,680	cm
Longitud tramo de llenado (H)			420	cm
Caudal (Q) =	4.1E+00	l/s	4063.3333	cm <sup>3</sup> /s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm <sup>3</sup> /s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	349.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	248.0	4133.333	7.999E-02	7.999E-04
3	60	241.0	4016.667	7.774E-02	7.774E-04
4	60	238.0	3966.667	7.677E-02	7.677E-04
5	60	240.0	4000.000	7.741E-02	7.741E-04
6	60	238.0	3966.667	7.677E-02	7.677E-04
7	60	235.0	3916.667	7.580E-02	7.580E-04
8	60	237.0	3950.000	7.645E-02	7.645E-04
9	60	232.0	3866.667	7.483E-02	7.483E-04
10	60	238.0	3966.667	7.677E-02	7.677E-04
11	60	235.0	3916.667	7.580E-02	7.580E-04
12	60	231.0	3850.000	7.451E-02	7.451E-04
13	60	230.0	3833.333	7.419E-02	7.419E-04
14	60	238.0	3966.667	7.677E-02	7.677E-04
15	60	227.0	3783.333	7.322E-02	7.322E-04
<b>V. TOTAL ADMITIDO</b>		<b>3657.0</b>			

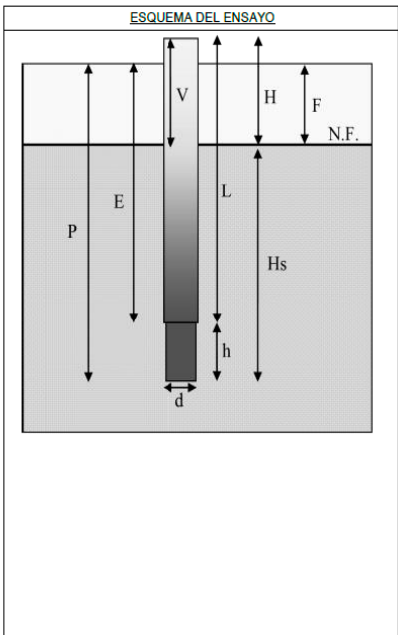
<b>Permeabilidad (K)</b>	<b>7.864E-02 cm/s</b>	<b>7.864E-04 m/s</b>
--------------------------	-----------------------	----------------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; \quad m = \frac{Ln \left( \frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia.

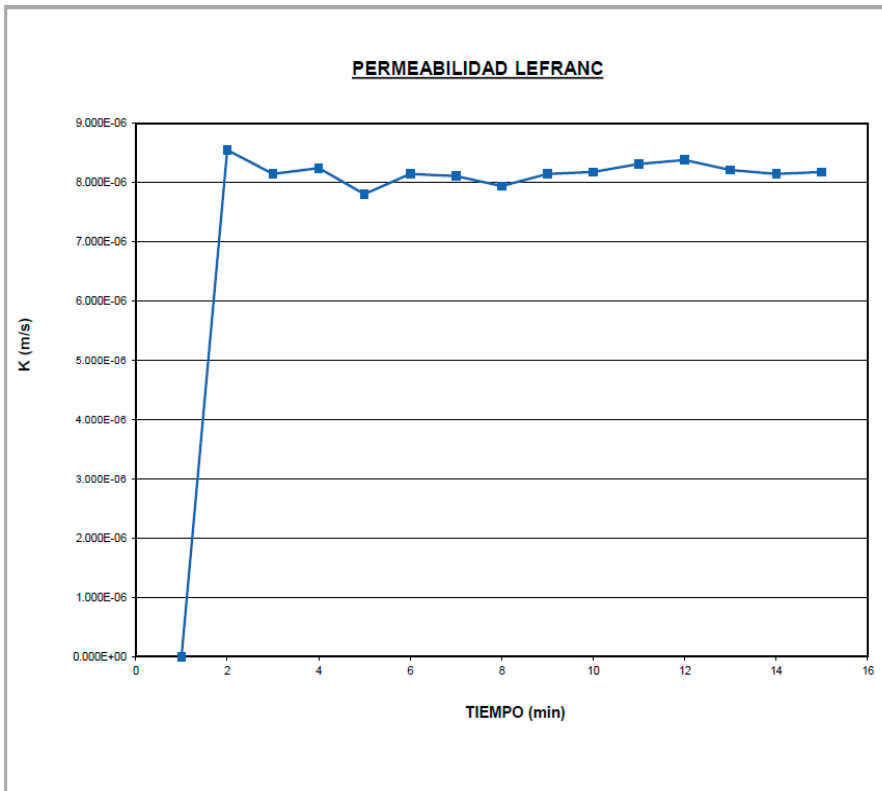
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-1  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	23.20	m	2,320	cm
Fondo entubación (E)	2.70	m	270	cm
Longitud perforación (L)	22.80	m	2,280	cm
Nivel freático (F)	3.90	m	390	cm
Diámetro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	3642.0	l	3,642,000	cm <sup>3</sup>
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			2,050	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			1,930	cm
Longitud tramo de llenado (H)			2,400	cm
Caudal (Q) =	4.0E+00	l/s	4046.6667	cm <sup>3</sup> /s
Coefficiente de forma =	4.866E-04			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm <sup>3</sup> /s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	254.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	253.0	4216.667	8.549E-04	8.549E-06
3	60	241.0	4016.667	8.143E-04	8.143E-06
4	60	244.0	4066.667	8.245E-04	8.245E-06
5	60	231.0	3850.000	7.805E-04	7.805E-06
6	60	241.0	4016.667	8.143E-04	8.143E-06
7	60	240.0	4000.000	8.109E-04	8.109E-06
8	60	235.0	3916.667	7.940E-04	7.940E-06
9	60	241.0	4016.667	8.143E-04	8.143E-06
10	60	242.0	4033.333	8.177E-04	8.177E-06
11	60	246.0	4100.000	8.312E-04	8.312E-06
12	60	248.0	4133.333	8.380E-04	8.380E-06
13	60	243.0	4050.000	8.211E-04	8.211E-06
14	60	241.0	4016.667	8.143E-04	8.143E-06
15	60	242.0	4033.333	8.177E-04	8.177E-06
V. TOTAL ADMITIDO		3642.0			

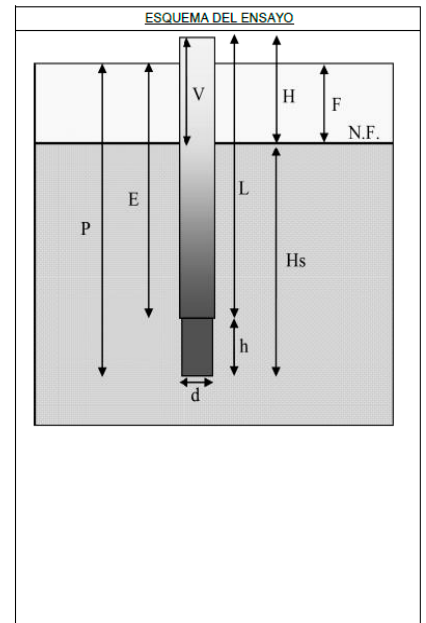
Permeabilidad (K)	8.204E-04 cm/s	8.204E-06 m/s
-------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; m = \frac{Ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia.

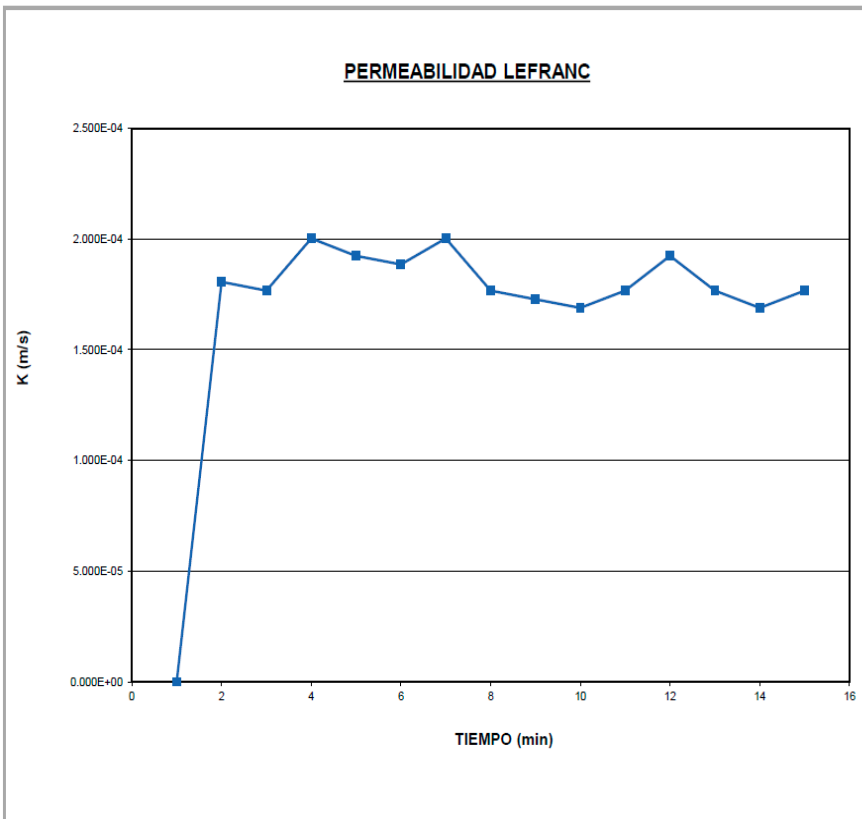
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-2  
**PROFUNDIDAD (m):** 5.00 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	5.00	m	500	cm
Fondo entubación (E)	4.50	m	450	cm
Longitud perforación (L)	4.95	m	495	cm
Nivel freático (F)	3.00	m	300	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	699.0	l	699,000	cm <sup>3</sup>
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			200	cm
Longitud tramo de llenado (H)			345	cm
Caudal (Q) =	7.8E-01	l/s	776.6667	cm <sup>3</sup> /s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm <sup>3</sup> /s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	50.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	46.0	766.667	1.806E-02	1.806E-04
3	60	45.0	750.000	1.767E-02	1.767E-04
4	60	51.0	850.000	2.003E-02	2.003E-04
5	60	49.0	816.667	1.924E-02	1.924E-04
6	60	48.0	800.000	1.885E-02	1.885E-04
7	60	51.0	850.000	2.003E-02	2.003E-04
8	60	45.0	750.000	1.767E-02	1.767E-04
9	60	44.0	733.333	1.728E-02	1.728E-04
10	60	43.0	716.667	1.689E-02	1.689E-04
11	60	45.0	750.000	1.767E-02	1.767E-04
12	60	49.0	816.667	1.924E-02	1.924E-04
13	60	45.0	750.000	1.767E-02	1.767E-04
14	60	43.0	716.667	1.689E-02	1.689E-04
15	60	45.0	750.000	1.767E-02	1.767E-04
V. TOTAL ADMITIDO		699.0			

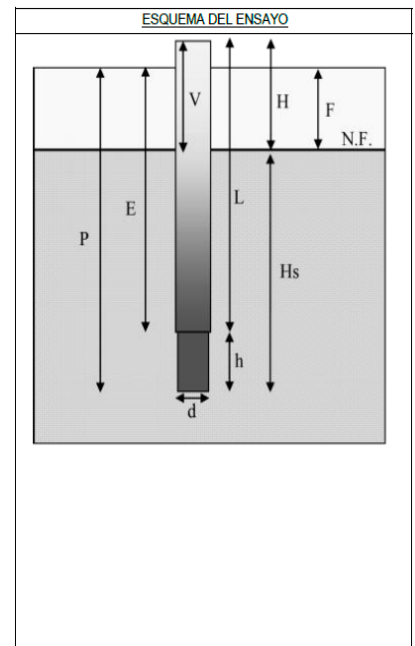
Permeabilidad (K)	1.830E-02 cm/s	1.830E-04 m/s
-------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).  

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; m = \frac{Ln \left( \frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia.

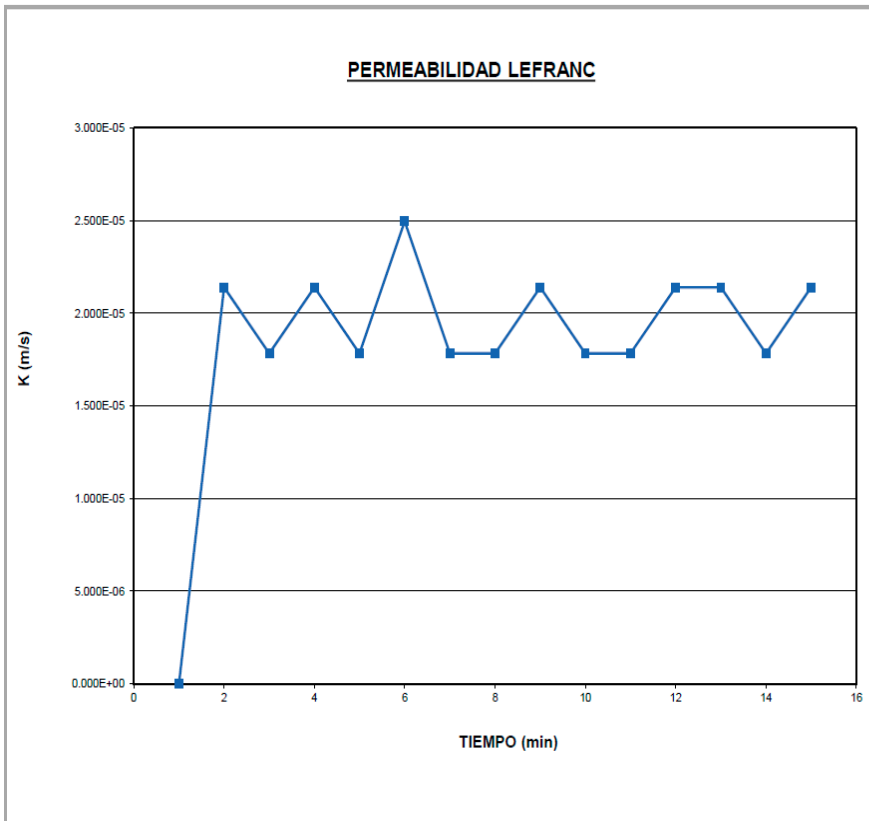
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA  
**POZO:** P-2  
**PROFUNDIDAD (m):** 10.00 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	10.00	m	1,000	cm
Fondo entubación (E)	9.50	m	950	cm
Longitud perforación (L)	9.90	m	990	cm
Nivel freático (F)	3.40	m	340	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	84.0	l	84,000	cm³
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			660	cm
Longitud tramo de llenado (H)			380	cm
Caudal (Q) =	9.3E-02	l/s	93.3333	cm³/s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

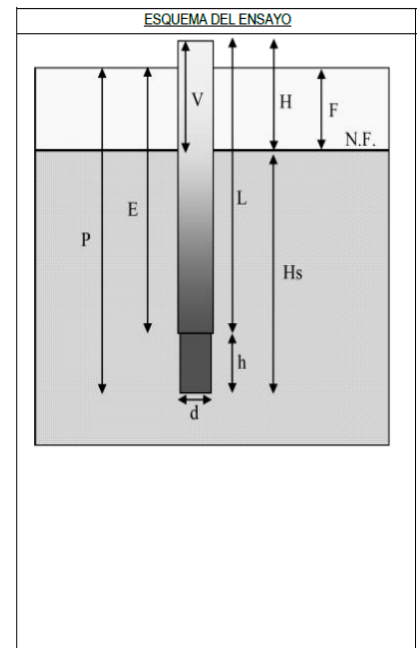
DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm³/s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	6.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
3	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
4	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
5	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
6	60	7.0	116.667	2.496E-03	2.496E-05
7	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
8	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
9	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
10	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
11	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
12	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
13	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
14	60	5.0	83.333	1.783E-03	1.783E-05
15	60	6.0	100.000	2.139E-03	2.139E-05
V. TOTAL ADMITIDO		84.0			

Permeabilidad (K)	1.996E-03 cm/s	1.996E-05 m/s
-------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).  

$$K = m \frac{Q}{H}$$
 Para  $h/d > 4$ ;  $m = \frac{Ln \left( \frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$



FUENTE: Elaboración propia.



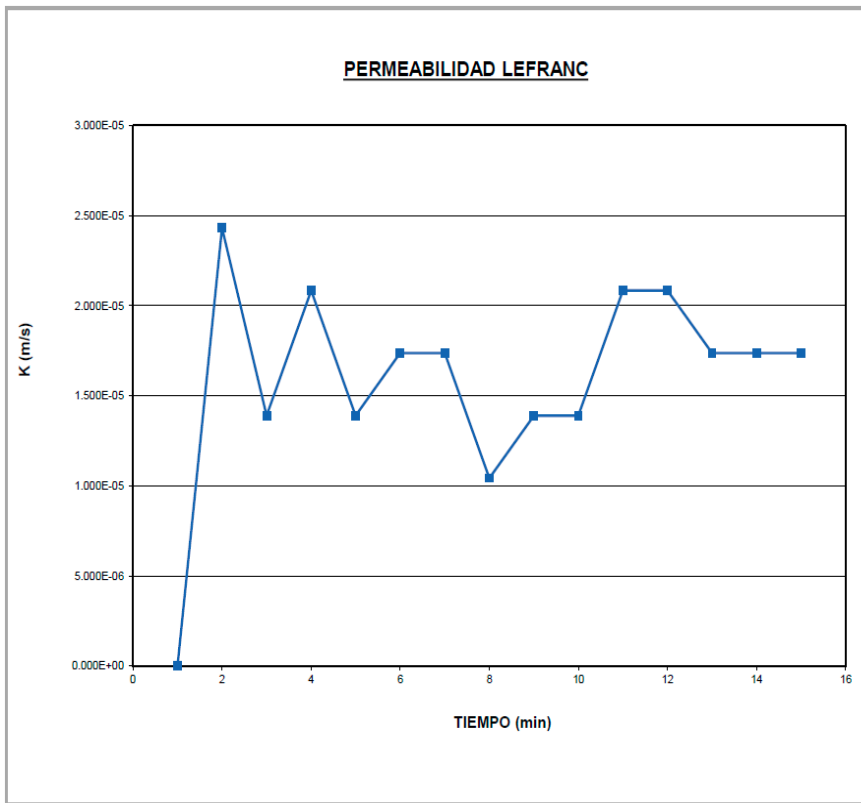
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-2  
**PROFUNDIDAD (m):** 15.00 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	15.00	m	1,500	cm
Fondo entubación (E)	14.50	m	1,450	cm
Longitud perforación (L)	14.90	m	1,490	cm
Nivel freático (F)	3.50	m	350	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	74.0	l	74,000	cm³
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			1,150	cm
Longitud tramo de llenado (H)			390	cm
Caudal (Q) =	8.2E-02	l/s	82.2222	cm³/s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm³/s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	5.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	7.0	116.667	2.432E-03	2.432E-05
3	60	4.0	66.667	1.389E-03	1.389E-05
4	60	6.0	100.000	2.084E-03	2.084E-05
5	60	4.0	66.667	1.389E-03	1.389E-05
6	60	5.0	83.333	1.737E-03	1.737E-05
7	60	5.0	83.333	1.737E-03	1.737E-05
8	60	3.0	50.000	1.042E-03	1.042E-05
9	60	4.0	66.667	1.389E-03	1.389E-05
10	60	4.0	66.667	1.389E-03	1.389E-05
11	60	6.0	100.000	2.084E-03	2.084E-05
12	60	6.0	100.000	2.084E-03	2.084E-05
13	60	5.0	83.333	1.737E-03	1.737E-05
14	60	5.0	83.333	1.737E-03	1.737E-05
15	60	5.0	83.333	1.737E-03	1.737E-05
V. TOTAL ADMITIDO		74.0			

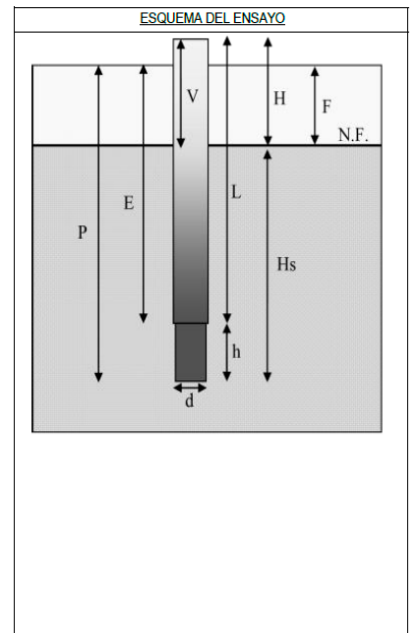
Permeabilidad (K)	1.714E-03 cm/s	1.714E-05 m/s
-------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; m = \frac{\ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia.

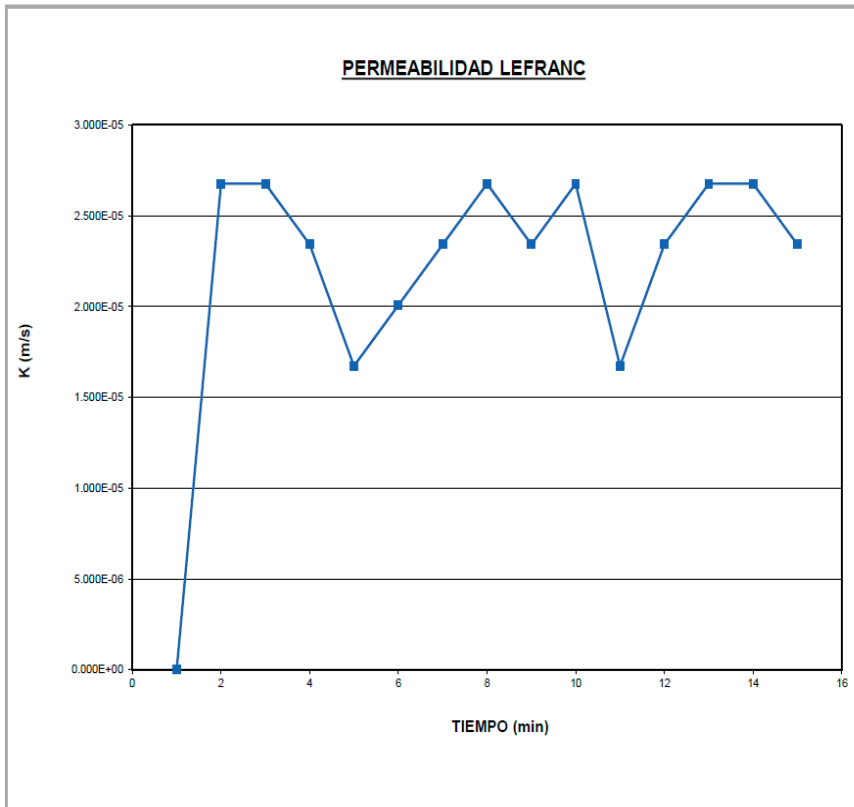
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-2  
**PROFUNDIDAD (m):** 20.00 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	20.00	m	2,000	cm
Fondo entubación (E)	19.50	m	1,950	cm
Longitud perforación (L)	19.95	m	1,995	cm
Nivel freático (F)	3.60	m	360	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	106.0	l	106,000	cm³
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			1,640	cm
Longitud tramo de llenado (H)			405	cm
Caudal (Q) =	1.2E-01	l/s	117.7778	cm³/s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm³/s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	7.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
3	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
4	60	7.0	116.667	2.342E-03	2.342E-05
5	60	5.0	83.333	1.673E-03	1.673E-05
6	60	6.0	100.000	2.007E-03	2.007E-05
7	60	7.0	116.667	2.342E-03	2.342E-05
8	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
9	60	7.0	116.667	2.342E-03	2.342E-05
10	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
11	60	5.0	83.333	1.673E-03	1.673E-05
12	60	7.0	116.667	2.342E-03	2.342E-05
13	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
14	60	8.0	133.333	2.676E-03	2.676E-05
15	60	7.0	116.667	2.342E-03	2.342E-05
<b>V. TOTAL ADMITIDO</b>		106.0			

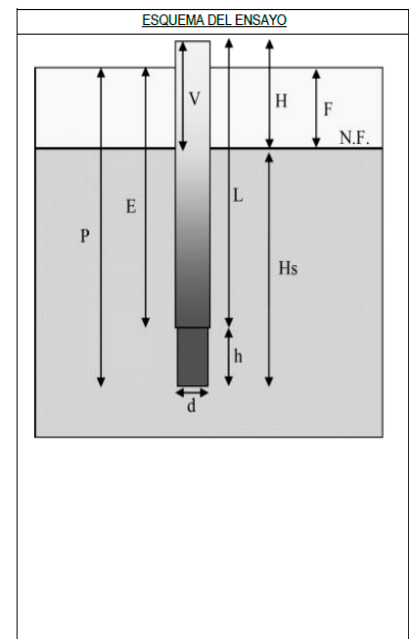
<b>Permeabilidad (K)</b>	2.364E-03 cm/s	2.364E-05 m/s
--------------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; m = \frac{Ln \left( \frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$$



FUENTE: Elaboración propia.

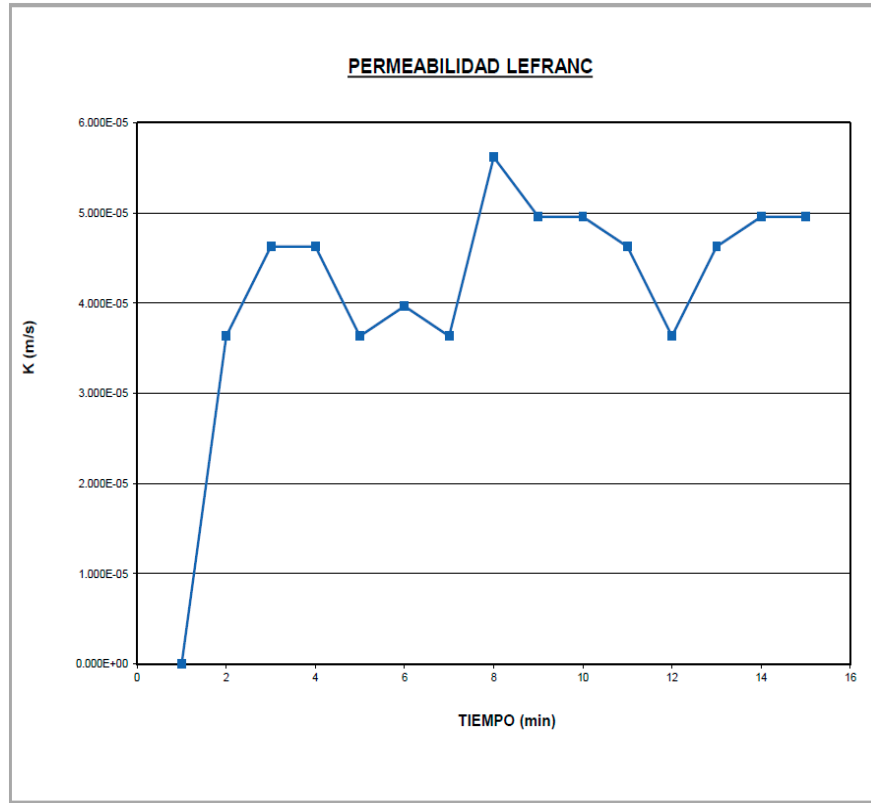
**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-2  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.00 m

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC - CARGA CONSTANTE ASTM D 4631-95 (2000)**

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	23.00	m	2,300	cm
Fondo entubación (E)	22.50	m	2,250	cm
Longitud perforación (L)	22.95	m	2,295	cm
Nivel freático (F)	3.65	m	365	cm
Diametro perforación (d)	77.80	mm	7.78	cm
Volumen admitido (V)	197.0	l	197,000	cm³
Tiempo (t)	15	min	900	s
Longitud del tramo ensayado (h)			50	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			1,935	cm
Longitud tramo de llenado (H)			410	cm
Caudal (Q) =	2.2E-01	l/s	218.8889	cm³/s
Coefficiente de forma =	8.128E-03			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm³/s)	K (cm/s)	K (m/s)
1	60	8.0	0.000	0.000E+00	0.000E+00
2	60	11.0	183.333	3.635E-03	3.635E-05
3	60	14.0	233.333	4.626E-03	4.626E-05
4	60	14.0	233.333	4.626E-03	4.626E-05
5	60	11.0	183.333	3.635E-03	3.635E-05
6	60	12.0	200.000	3.965E-03	3.965E-05
7	60	11.0	183.333	3.635E-03	3.635E-05
8	60	17.0	283.333	5.617E-03	5.617E-05
9	60	15.0	250.000	4.956E-03	4.956E-05
10	60	15.0	250.000	4.956E-03	4.956E-05
11	60	14.0	233.333	4.626E-03	4.626E-05
12	60	11.0	183.333	3.635E-03	3.635E-05
13	60	14.0	233.333	4.626E-03	4.626E-05
14	60	15.0	250.000	4.956E-03	4.956E-05
15	60	15.0	250.000	4.956E-03	4.956E-05
V. TOTAL ADMITIDO		197.0			

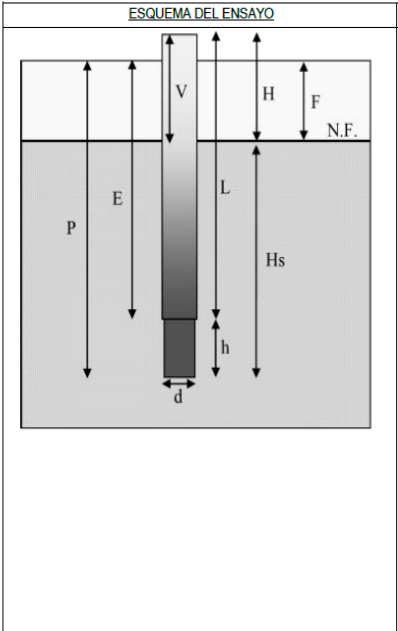
<b>Permeabilidad (K)</b>	4.340E-03 cm/s	4.340E-05 m/s
--------------------------	----------------	---------------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$\text{Para } h/d > 4; m = \frac{\ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{2\pi \cdot h}$$



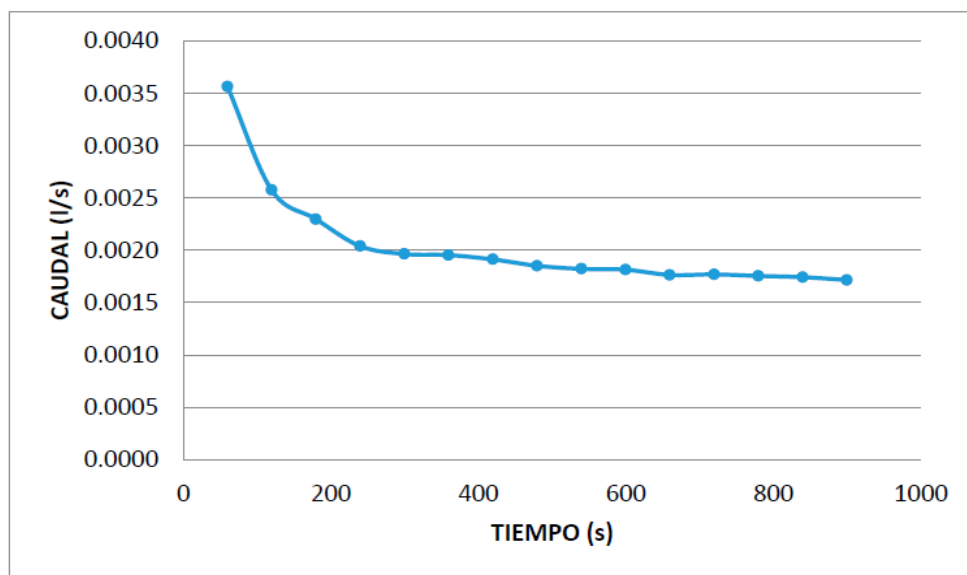
FUENTE: Elaboración propia.

**UBICACIÓN:** LAGUNA CHACLACCOCHA DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA  
**POZO:** P-3  
**PROFUNDIDAD (m):** 5.00 m

**Datos de prueba en P-3, a la profundidad de 5.00 m**

Fondo perforación (P)	<b>5.00</b>
Fondo entubación (E)	<b>4.50</b>
Longitud perforación (L)	<b>4.90</b>
Nivel freático (F)	<b>0.00</b>
Diámetro perforación (d)	<b>77.80</b>

tiempo (s)	altura (cm)	volumen (cm <sup>3</sup> )	caudal (l/s)
60	4.5	213.93	0.0036
120	6.5	309.00	0.0026
180	8.7	413.59	0.0023
240	10.3	489.65	0.0020
300	12.4	589.48	0.0020
360	14.8	703.58	0.0020
420	16.9	803.41	0.0019
480	18.7	888.98	0.0019
540	20.7	984.06	0.0018
600	22.9	1088.64	0.0018
660	24.5	1164.70	0.0018
720	26.8	1274.04	0.0018
780	28.8	1369.12	0.0018
840	30.8	1464.20	0.0017
900	32.5	1545.01	0.0017



FUENTE: Elaboración propia.

## ANEXO 5: REGISTRO DE PERFORACIONES

### REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4469.10 msnm      **COORDENADAS:** 487 685.00 E  
**SONDAJE:** P-1      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 701.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
0.7	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	0.7											SM
1.30					0.6											
1.5					1.5											
2.9					1.5											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4469.10 msnm      **COORDENADAS:** 487 685.00 E  
**SONDAJE:** P-1      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 701.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)	
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
4.50	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	1.5												
5.90					1.4												
7.50					1.6												

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4469.10 msnm

**COORDENADAS:** 487 685.00 E

**SONDAJE:** P-1

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 701.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
8.90	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	1.3											
10.50					1.4											
11.00					1.5											
					1.1											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4469.10 msnm

**COORDENADAS:** 487 685.00 E

**SONDAJE:** P-1

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 701.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)						
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100							
12.20	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	1.1																	
					1.6																	
13.80					1.3																	
15.10																						

FUENTE: Elaboración propia.



## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAVELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4469.10 msnm

**COORDENADAS:** 487 685.00 E

**SONDAJE:** P-1

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 701.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)	
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
16.60	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	1.1												
18.20					1.6												
					1.25												

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4469.10 msnm      **COORDENADAS:** 487 685.00 E  
**SONDAJE:** P-1      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 701.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
19.80					1.25											
20.60	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	0.6											
22.20					1.6											
					1											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4469.10 msnm      **COORDENADAS:** 487 685.00 E

**SONDAJE:** P-1      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 701.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)	
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
23.20	HQ	3.8	Color gris 20 %	6	1												

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4472.30 msnm

**COORDENADAS:** 487 662.00 E

**SONDAJE:** P-2

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 755.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)		
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100			
0.5	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	0.5												MO  SC con graba	
1.00					0.5													
1.60					0.6													
3.20					1.6													
					1.5													

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4472.30 msnm      **COORDENADAS:** 487 662.00 E  
**SONDAJE:** P-2      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 755.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
4.70	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	1.6											
6.30					1.6											
7.30					1											
					1.6											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4472.30 msnm      **COORDENADAS:** 487 662.00 E  
**SONDAJE:** P-2      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 755.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
8.90	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	1.6											
10.30					1.4											
					1.6											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCavelica, DEPARTAMENTO DE HUANCavelica"  
**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4472.30 msnm      **COORDENADAS:** 487 662.00 E  
**SONDAJE:** P-2      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 755.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
11.90	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	1.6											
13.10					1.15											
14.70					1.6											
					0.8											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCÁVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCÁVELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m      **COTA:** 4472.30 msnm      **COORDENADAS:** 487 662.00 E

**SONDAJE:** P-2      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 755.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 6      **NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
15.50	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	0.8											
17.10					1.6											
18.30					1.2											
					0.9											

FUENTE: Elaboración propia.



## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAVELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4472.30 msnm

**COORDENADAS:** 487 662.00 E

**SONDAJE:** P-2

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 755.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)			
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100				
19.50					0.9														
21.00	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	1.25														
22.60					1.45														

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCavelica, DEPARTAMENTO DE HUANCavelica"

**PROFUNDIDAD (m):** 23.20 m

**COTA:** 4472.30 msnm

**COORDENADAS:** 487 662.00 E

**SONDAJE:** P-2

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 755.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 6

**NIVEL FREÁTICO:** 3.80 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)	
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
23.20	HQ	3.65	Color gris 20 %	6	0.4												

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 14.35 m

**COTA:** 4470.80 msnm

**COORDENADAS:** 487 651.00 E

**SONDAJE:** P-3

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 869.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 4

**NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
0.6	HQ	0	Color gris 20 %	4	0.6											SC con graba
1.10					0.4											
2.10					0.75											
3.70					1.6											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCÁVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCÁVELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 14.35 m

**COTA:** 4470.80 msnm

**COORDENADAS:** 487 651.00 E

**SONDAJE:** P-3

**INCLINACIÓN:** 90°

8 610 869.00 N

**EQUIPO:** LONGYEAR 44

**N° DE CAJAS:** 4

**NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	
5.30	HQ	0	Color gris 20 %	4	1.6											
6.90					1.6											
					1.6											

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCÁVELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCÁVELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 14.35 m      **COTA:** 4470.80 msnm      **COORDENADAS:** 487 651.00 E  
**SONDAJE:** P-3      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 869.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 4      **NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)					SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)		
						20	40	60	80	100	20	40	60	80	100			
8.50					1.6													
9.70	HQ	0	Color gris 20 %	4	1.25													
11.1					1.4													
					1.6													

FUENTE: Elaboración propia.

## REGISTRO DE SONDEO

**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE SAN JOSÉ DE BELÉN, PUQUIOCOCHA, LOS ÁNGELES Y LARIA DEL DISTRITO DE LARIA, PROVINCIA DE HUANCAMELICA, DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"

**PROFUNDIDAD (m):** 14.35 m      **COTA:** 4470.80 msnm      **COORDENADAS:** 487 651.00 E  
**SONDAJE:** P-3      **INCLINACIÓN:** 90°      8 610 869.00 N  
**EQUIPO:** LONGYEAR 44      **N° DE CAJAS:** 4      **NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m

PROFUNDIDAD	LINEA DE PERFORACIÓN	NIVEL FREÁTICO	PERDIDA DE AGUA % COLOR	N° DE CAJAS DE TESTIGOS	MUESTRA	RECUPERACIÓN (%)					R.Q.D (%)			SUSC (OBSERVACION DE CAMPO)		
						20	40	60	80	100	20	40	60		80	100
12.7	HQ	0	Color gris 20%	4	1.6											
14.3					1.6											

FUENTE: Elaboración propia.